

# ESTRATEGIAS INTEGRADAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN A CAMBIOS GLOBALES



EDITORES

Lucas Fernández Reyes  
Alejandra V. Volpedo  
Alejo Perez Carrera

Red CYTED 406RT0285 Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica  
PIUBACC Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático



**PIUBACC**

Programa Interdisciplinario de la UBA sobre Cambio Climático





# **Estrategias Integradas de Mitigación y Adaptación a Cambios Globales**

Esta obra es una contribución de la Red CYTED 406RT0285 Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica.

Impreso en Argentina, Buenos Aires

Edición: Lucas Fernández Reyes, Alejandra V. Volpedo y Alejo Pérez Carrera

Buenos Aires, Argentina, diciembre 2009

ISBN: 978-987-96413-9-2

# Estrategias Integradas de Mitigación y Adaptación a Cambios Globales

Editores

Lucas Fernández Reyes  
Alejandra V. Volpedo  
Alejo Pérez Carrera

Red CYTED 406RT0285  
Efecto de los cambios globales sobre los humedales de  
Iberoamérica

PIUBACC  
Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires  
sobre Cambio Climático





<b>Autoridades de la Universidad</b>
--------------------------------------

**Rector**

Dr. Rubén HALLU

**Vicerrectora**

Dra. Beatriz GUGLIELMOTTI

**Sec. General**

Dr. Carlos MAS VÉLEZ

**Sec. Ciencia y Técnica**

Dr. Hugo SIRKIN

**Sec. Hacienda y Administración**

Lic. José Luís GIUSTI

**Sec. Extensión Universitaria y Bienestar Estudiantil**

LIC. OSCAR GARCÍA

**Sec. Asuntos Académicos**

Dra. Edith LITWIN

**Sec. Planificación**

Dra. Silvia LLOMOVATTE

|

|



**Autoridades de la Secretaria General de CYTED**

**Secretario General**

Dr. Fernando ALDANA MAYOR

**Secretarios Adjuntos**

Dra. Alicia FERNÁNDEZ CIRELLI

Dr. Fernando GUTIÉRREZ

**Coordinador Científico Tecnológico**

Dr. Jordi AQUILÓ

**Coordinadores Iberoeka**

Dr. José Ramón PERÁN

Dr. Luis Jiménez CASSINA

**Coordiandor Logístico**

Dr. Carlos MONZÓN

**Delegada Nacional CYTED por Argentina**

Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva - SeCyT

Directora de Relaciones Internacionales

Ing. Agueda MENVIELLE



**Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre  
Cambio Climático (PIUBACC)**

**Coordinadora General del PIUBACC**

Subsecretaría de Planificación de Ciencia y Técnica

Dra. Ana María BALASZCZUK

**Secretario PIUBACC**

Lic. Sergio PIGNUOLI OCAMPO

Representantes

*Facultad de Agronomía*

Ing. Agr. Guillermo MURPHY

Ing. Agr. Liliana SPESCHA

*Facultad de Arquitectura, Diseño y  
Urbanismo*

Dr. Juan Manuel BORTHAGARAY

Arq. Andrea RODRÍGUEZ

*Facultad de Ciencias Económicas*

Dra. María Teresa CASPARRI

Prof. Alicia BERNARDELLO

*Facultad de Ciencias Exactas y Naturales*

Dra. Inés CAMILLONI

*Facultad de Ciencias Sociales*

Dra. Gabriela MERLINSKY

*Facultad de Derecho*

Dra. Aurora Besalú PARKINSON

*Facultad de Farmacia y Bioquímica*

Dr. Pablo EVELSON

*Facultad de Filosofía y Letras*

Dra. Claudia NATENZON

*Facultad de Ingeniería*

Ing. Rafael SEOANE

*Facultad de Medicina*

Dr. Alejandro Berra

Dr. Carlos TRODLER

*Facultad de Odontología*

Dra. Deborah TASAT

*Facultad de Psicología*

Dra. Nora LEIBOVICH

Lic. Schelica MOZOBANCYK

*Facultad de Ciencias Veterinarias*

Dr. Alejo PÉREZ CARRERA

Dra. Alejandra VOLPEDO



**Red CYTED 406RT0285**  
**Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica**

**Coordinador Red de CYTED**  
Dr. Lucas FERNÁNDEZ REYES

**Representantes de Instituciones Participantes de la Red**

**ARGENTINA**

Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental (FCEN-UBA)  
Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (FVET-UBA)  
Universidad de Buenos Aires. Argentina  
Dra. Alejandra VOLPEDO

Centro de Investigaciones del Mar y Atmósfera (FCEN-UBA)  
Universidad de Buenos Aires  
Dra. Inés CAMILLONI

**CHILE**

Departamento de Ciencias Ecológicas, Universidad de Chile. Chile.  
Dr. Victor MARÍN

**COSTA RICA**

Fundación para la Gestión Ambiental Participativa. Costa Rica.  
MSc Juan BRAVO CHACÓN

**CUBA**

Centro de Gerencia de Programas y Proyectos Priorizados. Ministerio de Ciencia, Tecnología  
y Medio Ambiente (CITMA). Cuba.  
Dr. Lucas FERNÁNDEZ REYES

Centro del Clima. Instituto de Meteorología. CITMA. Cuba.  
Dr. Paulo L. ORTÍZ

Departamento de Gestión y Servicios Ambientales. Instituto de Oceanología. CITMA. Cuba.  
MSc Roberto PÉREZ

Centro de Hidrología y Calidad de Agua. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Cuba.  
Dr. Fernando ORTEGA

**BRASIL**

Departamento de Ciencias Biológicas. Escola Nacional Saúde Pública  
FIOCRUZ. Rio de Janeiro. Brasil.  
Prof. Ulisses CONFALONIERI

Embrapa Pantanal. Corumbá. Brasil.  
Dra. Emiko KAWAKAMI

**ESPAÑA**

Facultad de Ciencias de Ourense. Universidad de Vigo. España.  
Prof. Dr. Luis GIMENO

**GUATEMALA**

Escuela de Química, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.  
Dr. Juan Francisco PÉREZ

**PANAMA**

Unidad Técnica de Cambio Climático. Autoridad Nacional del Ambiente. Panamá.  
MSc René LÓPEZ

**PARAGUAY**

Departamento de Botánica, Dirección de Investigación, Facultad de Ciencias Químicas,  
Universidad Nacional de Asunción. Paraguay.  
Dra. Fátima MERELES

Comité Nacional de Humedales del Paraguay y Fundación Moisés Bertoni.  
MSc Danilo SALAS

**PORTUGAL**

Departamento del Ambiente y Ciencias de la Tierra.  
Universidade do Algarve. Portugal.  
Dra. Delminda MOURA

**VENEZUELA**

Conservación Internacional Venezuela. Caracas. Venezuela.  
Dra. Anabel RIAL

Estación de Investigaciones Marinas de Margarita.  
Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Venezuela.  
Prof. Joaquín BUITRAGO.

Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Venezuela.  
Dr. Giuseppe COLONNELLO

<b>Comité Académico y Evaluadores</b>
---------------------------------------

Dr. Alejandro BERRA  
Dr. Alejandro BRAZEIRO  
Dr. Alejo PÉREZ CARRERA  
Dr. Guillermo MURPHY  
Dr. Gustavo A. THOMPSON  
Dr. Joaquin BUITRAGO  
Dr. Juan Manuel BORTHAGARAY  
Dr. Lucas FERNÁNDEZ REYES  
Dr. Pablo EVELSON  
Dra. Alejandra VOLPEDO  
Dra. Alicia BERNARDELLO  
Dra. Alicia FERNÁNDEZ CIRELLI  
Dra. Ana María BALASZCZUK  
Dra. Ana MURGIDA

Dra. Andrea TOMBARI  
Dra. Aurora BESALU PARKINSON  
Dra. Claudia NATENZON  
Dra. Deborah TASAT  
Dra. Gabriela MERLINSKY  
Dra. Inés CAMILLONI  
Dra. Liliana SPESCHA  
Dra. Luisa FRONTI  
Dra. María Teresa CASPARRI  
Dra. Nora LEIBOVICH  
Dra. Olga HEREDIA  
Ing. Rafael SEOANE  
Lic. Daniela FUCHS  
Lic. Roberta CALLICÓ





**Serie de Monografías de las principales líneas temáticas de la RED  
"Efecto de los Cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica"**

- "Efecto de los cambios globales sobre los recursos hídricos y los ecosistemas marino costeros" (2007). Alicia Fernandez Cirelli, Lucas Fernandez Reyes y Alejandra V. Volpedo. (Eds). 153 pp
- "Efecto de los cambios globales sobre biodiversidad" (2008). Alejandra V. Volpedo y Lucas Fernandez Reyes (Eds). 294pp
- "Efecto de los cambios globales sobre el ciclo del carbono" (2009). Fernando Ortega Sastriques, Lucas Fernandez Reyes y Alejandra V. Volpedo (Eds). 143pp
- "Efecto de los cambios globales sobre la salud humana y la seguridad alimentaria" (2009). Ulisses Confalonieri, Manuel Mendoza, y Lucas Fernandez Reyes (Eds). 178 pp



## Estrategias Integradas de Mitigación y Adaptación a Cambios Globales

### INDICE

<b>Prólogo de los Editores</b>	21
La Red CYTED 406RT0285 “Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica” (2006-2009). Una contribución al conocimiento de los humedales, sus amenazas y vulnerabilidades. Lucas Fernández Reyes	23
El Proyecto de biodiversidad IABIN como estrategia para el abordaje de cambios globales en ecosistemas de América Alba Puig	49
<b>Efecto de los cambios globales sobre los sistemas naturales y socioeconómicos.</b>	
Cenários de desenvolvimento sustentável no Pantanal em função de tendências hidroclimáticas Ivan Bergier Tavares de Lima y André Steffens Moraes	61
Campos diarios de altura geopotencial de 500 hpa en los modelos de circulación global María Laura Bettolli y Olga Clorinda Penalba	75
Algunas características de las precipitaciones en la región noroeste de la Argentina Rafael Hurtado, Leonardo Serio, Analía Faroni y Hernán Vich	85
Tendencias de las temperaturas máximas y mínimas en el noroeste argentino Rafael Hurtado, María Elena Fernández Long y Leonardo Serio	93
Simulaciones de la circulación atmosférica asociada a los eventos fríos extremos en el sudeste de Sudamérica en un escenario de clima futuro Gabriela V. Müller, Kelen M. Andrade, Iracema F.A. Cavalcanti y María Elena Fernández Long	101
Detección de cambios abruptos en la precipitación anual del noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina Silvia P. Pérez; Eduardo M. Sierra; Julieta Irigoín y Marcelo J. Massobrio	111
Variabilidad interdecádica de eventos extremos de temperatura en Argentina Bárbara Tencer y Matilde Rusticucci	119
Cambios en el clima de altas latitudes durante el último siglo: análisis de la serie de temperatura de Orcadas Natalia Zazulie y Matilde Rusticucci	127

Aptitud agroclimática del cártamo y pasto varilla para la Argentina Sofía Teresa Cañas, Stella Maris Fernanda Zalazar, Rafael Horacio Hurtado, Danilo Alejandro Carnelos	135
Cambios globales y efectos ambientales en Bolívar (Pampa arenosa y Valle del Vallimanca), Buenos Aires, Argentina María Celia García	141
Escenarios de evolución de los suelos frente a diferentes escenarios de cambio climático Olga Susana Heredia, Carla Pascale y Hernan Mengoni	153
La situación hídrica de los últimos 30 años sobre la región pampeana Argentina Vanina L. Ferrero, Marcela H. González, Leonardo Serio y Rafael Hurtado	163
Incertidumbre del caudal de diseño ante cambios en las características exteriores de las tormentas. Patricia M. López y Rafael S. Seoane	175
Consecuencias de El Niño 2002 sobre las Lagunas de Trenque laúquén y Pozuelos Maggi Alejandro Esteban y Navone Stella Maris.	185
Variabilidad decadal de las situaciones hídricas extremas en el centro-noreste argentino Olga C. Penalba, Vanesa C. Pántano, Liliana B. Spescha y Guillermo M. Murphy	193
Efectos de los cambios globales sobre la diversidad y servicios ecosistémicos de ambientes acuáticos continentales en Chile. Patricio De los Ríos, Patricio Acevedo y Marcela Vega.	203
Análisis estadístico de tendencias en caudales máximos en ríos argentinos. Rafael S. Seoane y Ana C. Callau	213
Percepción del cambio climático por una comunidad ganadera en los humedales del sur del Paraguay. Salas-Dueñas	229
Generación de óxido nítrico en plantas: efecto del paraquat y la suplementación con nitrato Andrea Galatro, Natalia Gorojovsky, Agustina Buet y Marcela Simontacchi	235
La biodiversidad de peces del Río de la Plata y su relación con los cambios ambientales en los últimos 40 años. Alejandra V. Volpedo, Andrea D. Tombari y Alicia Fernández Cirelli	243
Genotoxicidad <i>in vivo</i> y contaminación ambiental: ¿Conocemos lo que usamos? Alicia Leonor Basso	249

## **Impactos sobre los servicios ambientales, salud, indicadores psicosociales y bienestar humano.**

- Servicios ecosistémicos en la ecorregión Delta e islas del Paraná: consideraciones sobre usos y tendencias, y criterios para su conservación. 259  
Priscilla G. Minotti, Claudio Baigún, Patricia Kandus, Rubén D. Quintana  
Marta Borro; Facundo Schivo; Natalia Morandeira; Patricia Gramuglia y Florencia Brancolini
- Cambios en las pesquerías marinas argentinas en las dos últimas décadas: perspectivas en el marco del cambio climático. 273  
Andrea D. Tombari, Daniela Fuchs, Cecilia Kunert, Roberta Callicó Fortunato y Alejandra V. Volpedo
- Cinética del metabolismo oxidativo en pulmón por exposición a contaminantes ambientales 289  
Natalia Magnani, Timoteo Marchini, Déborah Tasat, Silvia Alvarez y Pablo Evelson
- Impacto biológico adverso sobre las vías respiratorias inducido por material particulado proveniente de sedimentos del Río Reconquista 299  
Sebastián Ariel Ferraro, Gustavo Curutchet y Deborah Ruth Tasat
- Aportes desde la psicología para la adaptación frente a estresores medioambientales 311  
Schelica Mozobancyk y Nora B Leibovich de Figueroa

## **Identificación y evaluación de las presiones sobre los sistemas naturales y antrópicos.**

- Intensificación ganadera y valoración del fósforo como factor de presión al sistema 323  
Susana Beatriz Gil, María Alejandra Herrero, y María Cristina Saucedo
- Determinación del Factor de Emisión de Metano en el cultivo de arroz en Corrientes 333  
Susana Noemí Maciel, María Cristina Sanabria, Alejandro Faustino Kraemer, Alfredo Marín, Ditmar Bernardo Kurtz y Héctor Daniel Ligier.
- Evaluación de los períodos secos ocurridos entre 1960-2008 en Argentina. 341  
Juan Antonio Rivera y Olga Clorinda Penalba
- Utilización de microalgas como bioindicadores del deterioro de ambientes acuáticos 351  
Visitación Conforti
- Escenarios de Cambio Climático y Aves en Argentina: problemática para su conservación 363  
Martín Andrés Díaz

Indicadores del suelo como aporte al conocimiento de su diversidad biológica en bosques de Chubut, Argentina. Diana Noemí Effron, Rosa Lina Defrieri, Gabriela Cristina Sarti, y María Fernanda Tortarolo.	375
El Paraguay ante el cambio climático: evaluación de la situación actual María Fátima Mereles Haydar, Sonia Delphin y Carlos Romero	385
Modelación ecológica y económica de la extracción pesquera de consumo en los lagos amazónicos centrales: adaptación indígena local Camilo Torres-Sanabria	395
Influencia de cambios bruscos en el dínamo solar sobre el sistema climático terrestre Adrian Mario Silva	409
<b>Políticas nacionales y sectoriales de prevención, mitigación, rehabilitación o adaptación a los cambios globales.</b>	
Gestión del riesgo y dinámica del clima en grandes ciudades: el caso de Buenos Aires Silvia Graciela González, Jesús Pablo Damián Bondioni y Claudia Natenzon	429
Ordenamiento territorial y bienestar humano en la Ciudad de Zarate Ariel Peveri y Liliana Mabel Martinelli.	439
Cero fósiles en 2050. Transición energética en Argentina: el rol de las fuentes renovables. Roque Pedace	445
El cambio climático y las energías renovables Ernesto Mario Leikis	453
<b>Alternativas para una gestión sostenible, la gestión de riesgos y el desarrollo sostenible</b>	
Evaluación de lípidos en residuos de café y determinación de posibles usos bioenergéticos Leonardo Mariano Paz, Hugo Daniel Chludil, Silvia Rosa Leicach, y Elena Rita Mongelli	463
Gestión local del riesgo, adaptación a la dinámica del clima y prevención de desastres. El caso de Santa Fe. Jessica Viand, A. Clavo y Claudia Natenzon	469
Los fondos ambientales universales y el cambio climático global Alberto César Moreira	483

## PRÓLOGO DE LOS EDITORES

Este libro “Estrategias Integradas de Mitigación y Adaptación a Cambios Globales” es el resultado del esfuerzo conjunto de la Red "Efecto de los Cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica" del Programa CYTED y el Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático (PIUBACC), quienes plasman en este volumen el esfuerzo de estos dos grupos en generar respuestas a la problemática del Cambio Climático. Ha sido elaborado a partir de los materiales presentados en el evento internacional “Estrategias Integradas de Mitigación y Adaptación a Cambios Globales” que reunió al VI Simposio Taller Internacional de la Red CYTED y las II Jornadas del Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático (PIUBACC) y que se celebró del 24 al 26 de Agosto de 2009 en la Ciudad de Buenos Aires. Esta publicación constituye una importante contribución de diferentes grupos de investigación al conocimiento de los cambios globales en la región y la búsqueda de soluciones para la mitigación, rehabilitación o adaptación a los cambios.

En este libro se presentan diversas experiencias centradas en cinco ejes temáticos:

- Efecto de los cambios globales sobre los sistemas naturales y socioeconómicos.
- Impactos sobre los servicios ambientales, salud, indicadores psicosociales y bienestar humano.
- Identificación y evaluación de las presiones sobre los sistemas naturales y antrópicos.
- Políticas nacionales y sectoriales de prevención, mitigación, rehabilitación o adaptación a los cambios globales.

Dentro de estos ejes se desarrollan diferentes tópicos relacionados con el estado y tendencias de los ecosistemas, las amenazas y vulnerabilidades, la sensibilidad y capacidad de resistencia ante los cambios; los estudios de escenarios, considerando las tendencias económicas, políticas, sociales y ambientales; el papel de la cooperación de las instituciones y organismos y las políticas nacionales y sectoriales de mitigación, rehabilitación o adaptación a los cambios globales; el cambio climático y el rol de las energías renovables; los escenarios de desarrollo sustentable en función de las tendencias hidroclimáticas; los escenarios de cambio climático, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos; las tendencias de la situación hídrica e impactos sobre la economía y los ecosistemas; la actividad agropecuaria y las emisiones de gases de efecto invernadero; el papel de los fondos ambientales y el cambio climático; la modelación de los eventos climáticos; los eventos extremos y sus tendencias; la evolución de los suelos frente a diferentes escenarios de cambio climático; la variabilidad de las situaciones hídricas extremas; la gestión local del riesgo como herramienta de adaptación y prevención de desastres, entre otros temas.

La Red “Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica”, en nombre del Programa CYTED, y el Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático (PIUBACC), en nombre de la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires, expresan su agradecimiento al

numeroso colectivo de autores, a los evaluadores, revisores y comité académico, cuyo esfuerzo mancomunado ha hecho posible la elaboración de esta publicación, la cual es el producto concreto de la sinergias entre organismos y la confluencia de acciones y voluntades.

Lucas Fernández Reyes  
Alejandra Volpedo  
Alejo Perez Carrera



**LA RED CYTED 406RT0285 “EFECTO DE LOS CAMBIOS GLOBALES SOBRE LOS HUMEDALES DE IBEROAMÉRICA” (2006-2009). Una contribución al conocimiento de los humedales, sus amenazas y vulnerabilidades.**

*RED CYTED 406RT0285 “Effect of global changes on wetlands in Ibero-america (2006-2009). A contribution to the knowledge of wetlands threats and vulnerabilities.*

**Lucas Fernández Reyes**

Centro de Gerencia de Programas y Proyectos Priorizados. Cuba  
Calle 20 No. 4103 e/ 41 y 47, Playa, La Habana. Cuba. CP 11 300

\*lfernandez@geprop.cu

**RESUMEN**

Los humedales contribuyen a la diversidad y productividad de la biósfera y proporcionan al hombre numerosos bienes y servicios.

La ocurrencia de procesos y fenómenos carácter global, como la deforestación, los cambios de uso de la tierra, las sequías, la desertificación, la alteración de los caudales hidrológicos, los incendios forestales, los huracanes, las inundaciones y avalanchas, entre otros, están impactando en los humedales y en los bienes y servicios que ellos proporcionan.

En la actualidad, son limitados los conocimientos que tenemos sobre el funcionamiento y la dinámica de los humedales iberoamericanos, por lo que aún no se puede estimar cómo estos ecosistemas se adaptarían a las fluctuaciones ambientales naturales y cómo responderían a las presiones extremas.

En el presente trabajo se presenta una visión sobre la contribución de la Red CYTED 406RT0285 “Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica” a la generación y difusión de conocimientos científicos y la formación de especialistas en materia de protección, conservación y gestión sostenible de los humedales de Iberoamérica. En particular, se presentan los logros alcanzados en las principales líneas temáticas relacionadas con el efecto de los cambios globales sobre: la vulnerabilidad de los recursos hídricos y ecosistemas marino-costeros; la biodiversidad, la vulnerabilidad de especies y la resiliencia; la seguridad alimentaria y la salud humana, y el ciclo del carbono. Asimismo, presentan otros temas vinculados al análisis de los cambios en el uso de la tierra y los tipos de cobertura; la identificación de indicadores de sensibilidad a los cambios globales; el desarrollo de metodologías para cuantificación de secuestro de carbono por diferentes tipos de cobertura; el desarrollo de estrategias integradas de mitigación, rehabilitación o adaptación que sirvan de soporte a las decisiones de los gobiernos, los órganos de gestión y la sociedad civil en el manejo sostenible de los humedales.

**Palabras clave:** cambios globales, zonas húmedas, biodiversidad, seguridad alimentaria, salud humana, captura de carbono atmosférico, vulnerabilidad de los recursos hídricos

**SUMMARY**

Wetlands contribute to diversity and productivity biosphere and provide to the man numerous goods and services.

The occurrence of phenomena and processes global, as deforestation, changes of land use, desertification, alteration of flows hydrological, fires forest, hurricanes, floods and avalanches, are impacting in wetlands and the goods and services that its provide.

At present, limited the knowledge we have on the functioning and the dynamics of the Latin American wetlands. This allows no estimate adaptation mechanisms the natural environmental fluctuations and responses which will give pressures extreme.

The aim of paper are a view on the contribution of Red CYTED 406RT0285 "Effect of global changes on wetlands of Ibero-America" to generation and diffusion of knowledge scientists and training of specialists in protection, conservation and sustainable management of wetlands. In particular, achievements are presented in the main topics related to the effect global changes on: the vulnerability of water and marine resources; biodiversity, species vulnerability and resilience; food safety and human health, and cycle of the carbon. Also, have other topics related to the analysis of changes in the use of land and types of coverage; the identification of sensitivity indicators to global changes; the development of methodologies for quantification of different carbon sequestration coverage; the development of integrated strategies for mitigation, rehabilitation or adaptation which give support to the decisions of governments and civil society in the sustainable management of the wetlands.

Palabras clave. Cambios globales, zonas húmedas, biodiversidad, seguridad alimentaria, salud humana, captura de carbono atmosférico, vulnerabilidad de los recursos hídricos

**Key words:** global changes, wetlands, biodiversity, food security, human health, atmospheric carbon capture and vulnerability of water resources

## INTRODUCCIÓN

La Red 406RT0285 tiene como antecedentes a la Red Iberoamericana de Humedales XVII.C del programa CYTED (2001- 2005) la cual estuvo integrada por 64 grupos de investigación de 19 países de Iberoamérica.

La Red de Humedales XVII.C propició la capacitación y el intercambio de experiencias a más de 300 especialistas en diferentes actividades como cursos de capacitación, talleres, simposios, seminarios, pasantías, jornadas iberoamericanas y reuniones de coordinación. Más de 120 especialistas de la región recibieron capacitación técnica en los cursos programados, pasantías, jornadas iberoamericanas en los que han intervenido profesores de la Red. Los cursos recibidos han sido replicados en las instituciones de procedencia. Alrededor de 190 especialistas de la Red participaron en talleres, simposios, seminarios en los cuales se han presentado resultados de investigaciones, experiencias de gestión y manejo, trabajos con las comunidades, divulgación ambiental, entre otras. A través de las pasantías en centros de investigación y universidades de mayor desarrollo en la región se establecieron diferentes formas de cooperación (asesoría, capacitación y análisis de laboratorio especializados) para la ejecución de los proyectos de investigación sin implicar costo económico para las instituciones beneficiadas. Se publicaron tres monografías en español y portugués sobre humedales de Iberoamérica elaboradas a partir de las contribuciones de más de 90 destacados especialistas de 19 países de la región.

Mediante las publicaciones científicas y las acciones de intercambio de experiencias (talleres, simposios y seminarios) se logró recopilar abundante información sobre un

amplio espectro de temas como biogeoquímica de los humedales; vegetación y fauna característica de los humedales; humedales y culturas nativas de Iberoamérica; el uso de los humedales para actividades humanas; los humedales en los planes de ordenamiento territorial; el diagnóstico ambiental y manejo de ecosistemas acuáticos; la valoración socioeconómica de los humedales; las alteraciones en los humedales por las actividades humanas; la evaluación de riesgos y el diagnóstico de humedales en peligro: la evaluación de impactos y auditorías ambientales; los indicadores de sostenibilidad en humedales; las metodologías de estudio; la legislación y ordenamiento; el diagnóstico ambiental y manejo de ecosistemas acuáticos; el uso de humedales para tratamiento y reutilización de aguas residuales; la gestión pública y privada de los humedales: la educación para el uso racional del agua. Sin lugar a dudas, el conocimiento recopilado y su amplia divulgación a través de diversas vías ha tenido un impacto social notable y ha resultado de gran utilidad para los investigadores, docentes, gestores, tomadores de decisión, así como para el fortalecimiento de la concienciación pública en Iberoamérica sobre el tema de los humedales, su conservación y manejo sostenible.

Al concluir la Red Iberoamericana de Humedales XVII.C en 2005, se puso de manifiesto que, a pesar de haber logrado un conocimiento bastante completo sobre un amplio espectro de temas relacionados con los aspectos bióticos, físicos y socio económicos de los humedales, así como diferentes experiencias en materia de gestión, uso sostenible, manejo de conflictos y estudios interdisciplinarios en ecosistemas de humedales, quedaba, sin embargo, un tema de incuestionable relevancia que no había sido abordado y su ausencia dejaría incompleta la obra creada por esta Red. Se trataba de las amenazas a que están sometidos los humedales, especialmente el efecto de los cambios globales y su repercusión en la vulnerabilidad de los recursos hídricos y ecosistemas marino costeros, la biodiversidad, la seguridad alimentaria y la salud humana, entre otros. Obviamente, este aspecto, por su envergadura e interés científico y práctico, podría ser objeto de una Red independiente. En tal sentido, se acordó presentar a la Convocatoria CYTED 2005, una nueva Red Temática que, posteriormente fue aprobada como Red 406RT0285 "Efecto de los Cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica".

Los objetivos con que se concibió esta Red temática fueron básicamente de potenciación de los intercambios entre especialistas, capacitación de los recursos humanos y la puesta en común de metodologías de estudio y gestión de humedales.

En particular, se definieron como objetivos generales los siguientes: propiciar la cooperación entre especialistas iberoamericanos, el intercambio de experiencias y la transferencia de conocimientos acerca del efecto de los cambios globales sobre los humedales y su repercusión en tres direcciones fundamentales:

- la vulnerabilidad de los recursos hídricos y ecosistemas marino costeros;
- la biodiversidad, la vulnerabilidad de especies y la resiliencia;
- la seguridad alimentaria y la salud humana.

Asimismo, como punto de partida y complemento a las direcciones principales trabajo se plantearon los siguientes temas:

- desarrollo de metodologías para cuantificación de secuestro de carbono por diferentes tipos de cobertura ;
- análisis de los cambios en el uso de la tierra y los tipos de cobertura; identificación de indicadores de sensibilidad a los cambios globales;
- definición de indicadores de sostenibilidad en el manejo de humedales;

- desarrollo de estrategias integradas de mitigación, rehabilitación o adaptación que sirvan de base a los tomadores de decisiones, órganos de gestión y la sociedad civil en el manejo sostenible de los humedales.

Como objetivos específicos se plantearon los siguientes: sistematizar, actualizar y difundir los estudios realizados en la región acerca del impacto de los cambios globales sobre los humedales, las actividades económicas y las poblaciones locales; establecer metodologías comunes de investigación para el ordenamiento territorial y gestión ambiental de las zonas húmedas teniendo en cuenta la influencia de los cambios globales; formular proyectos de investigación que permitan profundizar las investigaciones sobre aspectos prioritarios relacionados con los cambios globales y la variabilidad como expresión primaria del cambio climático y sus efectos sobre los humedales; promover la innovación tecnológica, auspiciando la interacción entre instituciones científicas, centros docentes, empresas y administración; contribuir a la sensibilización social mediante acciones de educación ambiental y capacitación en relación con los cambios globales y su repercusión en las zonas húmedas; desarrollar los vínculos de cooperación con organismos internacionales (Convención Ramsar, Wetland Internacional, UICN, IAI, CATHALAC) vinculados al tema de estudio, gestión y la evaluación de cambios en los humedales.

#### **La Red CYTED 406RT0285: Líneas temáticas de trabajo y logros alcanzados.**

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, las actividades de la Red se organizaron en seis líneas temáticas, interrelacionadas entre sí, que engloban las problemáticas prioritarias de los humedales de la región. En conformidad con las líneas temáticas seleccionadas, las actividades de la Red se orientan a la generación de conocimientos científicos y su más amplia difusión a partir de la recopilación y sistematización de la información, el establecimiento de interacciones científicas, el intercambios de experiencias, la potenciación sinérgica y coordinación de líneas investigación, intercambios y movilidad de investigadores, formación de recursos humanos, capacitación técnica y metodológica, interconsultas para la resolución de problemas concretos. A continuación se brinda una panorámica general de los temas abordados en cada línea temática y los principales resultados alcanzados.

#### ***Línea 1. Indicadores de sensibilidad a los cambios globales. Definición de indicadores de sostenibilidad en el manejo de humedales.***

Existe una amplia diversidad de especies de plantas y animales que responden de manera sensible a los cambios de temperatura, composición química de las aguas y alteraciones físicas de los ecosistemas. Hay una conectividad muy fuerte entre la vegetación acuática y la calidad del agua. La vegetación acuática constituye un buen indicador de la dinámica y de las condiciones críticas del hábitat. Por ejemplo, los procesos de eutrofización con la presencia de *Myriophyllum*, *Eichhornia crassipes*, *Lemna obscura*, entre otras muchas, son una muestra evidente de la respuesta de la vegetación acuática a los excesos de nutrientes en los cuerpos de agua.

En gran parte de los humedales de Cuba, especialmente en la Ciénaga de Zapata los principales taxa nativos que pueden comportarse como invasores, según el estado de salud del ecosistema son: *Myriophyllum pinnatum* (Miriofilum), *Ceratopteris*

*pteridoides* (Ceratopteris), *Eichhornia crassipes* (Ova, Malangueta, Jacinto de agua), *Potamogeton illinoensis* (Espiga de agua), *Salvinia auriculata* (Lechuguilla de agua), *Pistia stratiotes* (Lechuga cimarrona, Lechuguilla).



Figura 1. *Mirophilium* y *Eichhornia crassipes*

En tierra firme existen otras especies vegetales que pueden ser utilizadas como indicadores de alteración de los ecosistemas o de manejos inadecuados. Entre las principales especies exóticas que

se comportan como invasoras en el medio terrestre se puede encontrar: *Casuarina equisetifolia* (Casuarina), *Melaleuca leucadendron* (Cayepút, Melaleuca), *Dichrostachis cinerea* (Marabú), *Terminalia catappa* (Almendro de la India), *Sesbania bispinosa* (Tamarindo de laguna), *Leucaena leucocephala* (Leucaena, Ipil-Ipil; variedades introducidas), De los *taxa* nativos que pueden tener comportamiento de planta invasora, según las afectaciones de sus ecosistemas, se destacan: *Lysiloma latisiliquum* (Soplillo), *Viguiera dentata* (Romerillo de costa), *Mimosa pellita* (Weyler), *Acacia farnesiana* (Aroma, Aroma amarilla), *Eugenia foetida* (Mije peludo), *Comocladia dentata* (Guao prieto), *Cassia spectabilis* (Palo bonito), *Tecoma stans* (Sauco amarillo), entre otras.



Figura 2. Plantas invasoras

Las especies invasoras se establecen en ecosistemas o hábitat naturales o seminaturales, constituyendo un agente de cambio que pone en peligro la diversidad biológica nativa (especies, poblaciones o ecosistemas). Las especies invasoras son organismos que han sido introducidos intencional o accidentalmente fuera de su ámbito natural (Ramsar COP7 DOC. 24, 1999).

También hay especies nativas, que ante disturbios en su hábitat responden con un comportamiento de especie invasora, sin tratarse de una especie exótica. Y aunque tales respuestas pueden interpretarse como un proceso sucesional de esas especies en su ecosistema, realmente si no se controla con técnicas adecuadas de manejo, silvícola u otras, por largo tiempo y quizás definitivo causan daños semejantes al de las especies invasoras exóticas. El control adecuado sobre las especies invasoras resulta costoso y la erradicación se vuelve casi imposible una vez que estas se establecen, sin embargo la prevención y la intervención rápida sobre las mismas, son las mejores y más rentables

técnicas que se recomienda utilizar. Siempre priorizando métodos mecánicos o biológicos sobre los métodos químicos (IGT, 2006).

Otros organismos vivos como los corales y bivalvos reaccionan de manera significativa a los cambios de temperatura y la contaminación química del agua. Los efectos principales del cambio climático sobre los arrecifes de corales se deben al aumento de la temperatura del agua y al aparente incremento de la intensidad de los huracanes. Lo primero desata nocivos eventos de blanqueamiento de corales cuando la temperatura excede en uno o más grados la máxima promedio histórica de verano por varias semanas. Aparentemente varias enfermedades infecciosas emergentes en corales se deban directa o indirectamente al aumento de la temperatura del agua. Los huracanes causan la muerte a los corales mecánicamente o por sedimentación y los ponen en desventaja competitiva con las algas que están siendo favorecidas por la falta de peces y erizos herbívoros y por contaminación por nutrientes. El incremento del nivel del mar puede ser compensado por la tasa de crecimiento vertical de los arrecifes si los corales están en buen estado. Por otra parte, la lentitud con que aumenta el nivel del mar da posibilidades a los corales de adaptarse y aclimatarse a la consecuente disminución de la intensidad luminosa. Sin embargo, el aumento del nivel del mar incrementa los procesos erosivos en el litoral lo que acarrearía una mayor tasa de sedimentación sobre los corales. Estos problemas, sumados a otros tradicionales inducidos por el hombre (contaminación, sobrepesca, daño mecánico, sedimentación, colecta de organismos,), han hecho de la degradación de los arrecifes una situación generalizada al nivel mundial (Alcolado *com. pers.*).



Figura 3. Blanqueamiento de corales

Los bivalvos, dado que son sedentarios y filtradores, también figuran como buenos indicadores de los procesos de cambio de la calidad del agua, fundamentalmente por contaminación.

Además de los indicadores biológicos, se han contemplado diversas alteraciones del medio físico que también pueden ser utilizadas como indicadores de cambios ambientales. Tal es el caso de la contracción de los glaciares altoandinos y patagónicos y, en consecuencia, el aumento de la cantidad de cuerpos de agua, el incremento de los eventos hidrometeorológicos extremos, especialmente en el Caribe, el incremento del nivel del mar, entre otros.

#### Principales actividades de la Línea Temática 1.

- I Simposio Taller Red 406RT0285. “Indicadores de sensibilidad a los cambios globales”. Fecha: 22 al 24 de Agosto de 2006. Lugar: Corumbá, Brasil. Participaron 67 especialistas de Argentina, Brasil, Cuba, Guatemala, Paraguay, Perú y Venezuela.

- Curso Taller sobre modelación y manejo de humedales. Fecha: 25 al 27 Octubre 2006. Lugar: Universidad de Chile. Participaron 10 especialistas de Argentina, Brasil, Paraguay y Chile.

**Línea 2. Efectos de los cambios globales sobre el ciclo del carbono.**

Entre las múltiples funciones de la cobertura vegetal de los humedales se encuentra la de sumidero de gases de efecto invernadero. En este sentido el IPCC ha indicado que el secuestro de carbono por las plantas es una alternativa de bajo costo para reducir el contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico. La posibilidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la actividad forestal y su potencial para aumentar el secuestro de carbono aumenta el valor agregado y la importancia en sí de este sector.

La fijación de carbono por la cobertura vegetal está en función de la acumulación y el almacenamiento de biomasa, tanto aérea como sub aérea. En la Figura 4 se muestra un esquema general para la estimación de las reservas de carbono para los usos de la tierra actuales.

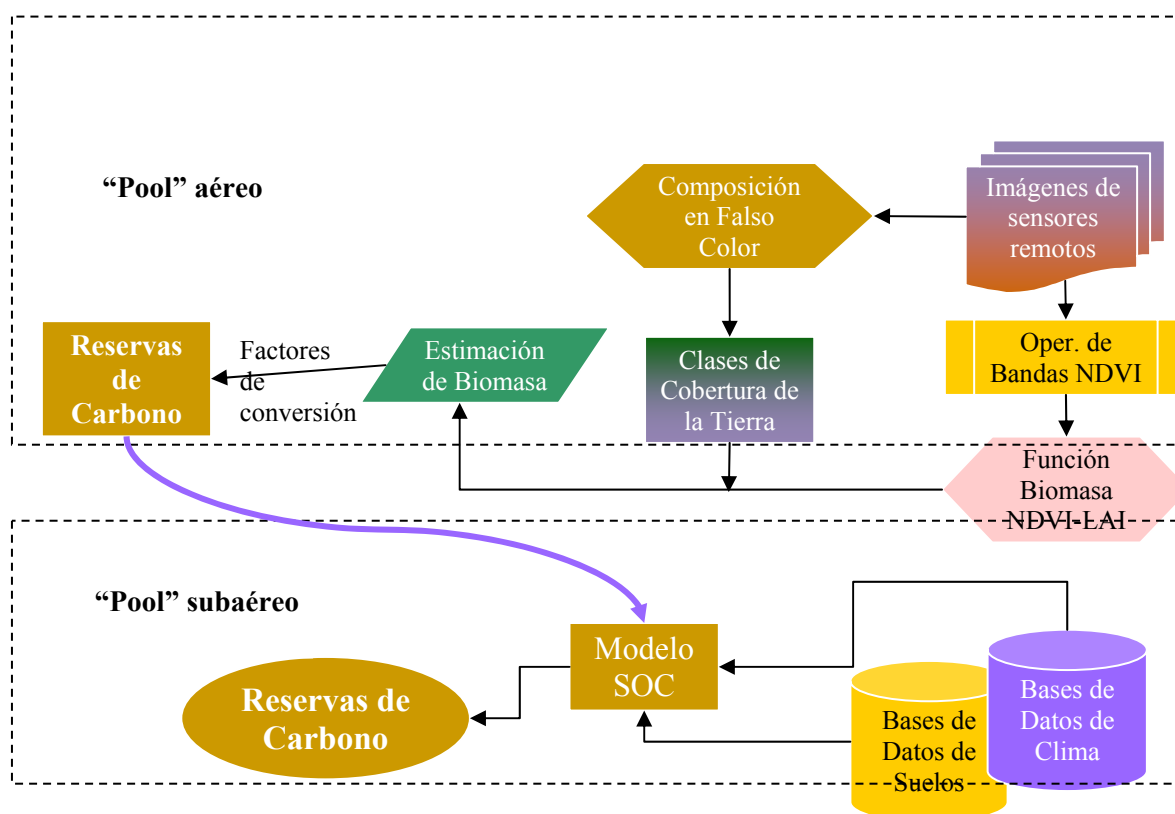


Figura 4. Evaluación de las reservas de carbono para los usos de la tierra actuales

El tema de los incendios forestales, por su efecto nocivo en la transformación de los ecosistemas, es considerado una de las problemáticas a abordar en esta línea temática. Cuando se produce un incendio forestal la biomasa acumulada se consume y el ecosistema forestal pasa de ser fijador a emisor de carbono. En los incendios la biomasa se combina con el oxígeno del aire para formar dióxido de carbono, vapor de agua y

liberación de energía, que contribuye a un aumento de la temperatura del entorno en el que se produce el fuego. Además, aunque en menores cantidades, se producen otras partículas y gases, incluyendo productos de combustión incompleta (CO) y derivados de nitrógeno y azufre.

A diferencia de los incendios controlados asociados al desbroce y a las actividades de gestión de ecosistemas para la eliminación de biomasa indeseada, los incendios espontáneos tienen efectos muy variables: la temperatura del fuego, la cantidad de biomasa disponible, el grado de combustión, y el impacto sobre la población forestal pueden ser muy diversos.

Principales actividades de la Línea Temática 2.

- Curso de capacitación Red 406RT0285 . “Efecto de los cambios globales en humedales. Metodologías para la cuantificación del el secuestro de carbono”. Fecha: 26 de febrero al 2 de marzo de 2007. Lugar: Guatemala. Participaron 30 alumnos y 5 profesores de 8 países iberoamericanos.
- II Simposio Taller Red 406RT0285: “Metodologías para la cuantificación de secuestro de carbono en diferentes tipos de ecosistemas”. Fecha: 25-27 de julio de 2007. Lugar: Heredia, Costa Rica. Participaron 96 especialistas de 12 países

- Publicación de monografía sobre los efectos del cambio global en el ciclo del carbono.



Entre las múltiples funciones de la cobertura vegetal de los humedales se encuentra la de sumidero de gases de efecto invernadero. En este sentido el IPCC ha indicado que el secuestro de carbono por las plantas es una alternativa de bajo costo para reducir el contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico. La posibilidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la actividad forestal y su potencial para aumentar el secuestro de carbono aumenta el valor agregado y la importancia en sí de este sector.

La Red, como parte de las iniciativas del Programa CYTED, ha promovido la publicación de esta monografía dedicada tema del secuestro de carbono por diferentes tipos de cobertura vegetal, que

se ha puesto a disposición de la comunidad de investigadores, gestores, decisores y público en general vinculados al tema del carbono. En la monografía se presentan los resultados de las investigaciones realizadas en diferentes países de Iberoamérica en



materia de captura de carbono por diferentes ambientes. En particular se abordan los siguientes aspectos:

- las marismas y ciénagas costeras y la inminente amenaza de la acelerada elevación del nivel del mar;
- el valor económico de la fijación de carbono en ecosistemas marinos;
- el efecto del cambio en el uso de la tierra sobre el balance de carbono en humedales;
- los métodos para la estimación de reservas de carbono de los suelos minerales;
- las respuestas adaptativas de los ecosistemas forestales al cambio climático;
- la cuantificación del carbono capturado por diferentes formaciones vegetales.

La monografía constituye un vehículo apropiado para canalizar y difundir los resultados de las investigaciones que en nuestra región desarrollan un creciente número de interesados en la materia.

### ***Línea 3. Efecto de los cambios globales sobre los recursos hídricos y la vulnerabilidad costera.***

Los recursos hídricos son finitos y frágiles. El per cápita mundial se ha reducido de 12 900 m<sup>3</sup>/año en 1970 a 6 490 m<sup>3</sup>/año en 2006, o sea, 2 veces en 36 años. La demanda actual crece a un ritmo anual entre 4 y 8%. A este alarmante contexto se suman las incertidumbres en cuanto a los efectos de los cambios del clima sobre los recursos hídricos que en nuestra área geográfica resultan incuestionablemente complejas y controversiales. Los cambios en el sistema climático global pueden intensificar el ciclo hidrológico globalmente, causando grandes impactos en los recursos hídricos regionales (IPCC/TAR, 2001). Entre los impactos previsibles de los cambios climáticos sobre los humedales cabe destacar: la alteración del régimen hidrológico y su estacionalidad, la extensión espacial y volumen hídrico, la conectividad entre áreas, aumento de la temperatura, la evapotranspiración, variación de los ciclos biogeoquímicos, concentraciones de sedimentos en suspensión y oxidación de sedimentos orgánicos, entre otros.

#### ***Recursos hídricos superficiales***

Según los pronósticos, distintos niveles de calentamiento global tienen consecuencias diversas, inclusive opuestas, para la disponibilidad de agua. Se espera que por cada grado de calentamiento, la evapotranspiración potencial se incremente en un 5%. En regiones semiáridas, menos cantidad de lluvias y mayor ritmo de evapotranspiración implicarían una desecación y desertificación pronunciadas. En ciertas áreas habrá menor cantidad de aguas subterráneas y una tendencia a que los suelos se vuelvan semiáridos y áridos. Se pronostica una reducción de la humedad del suelo entre un 10% y 20%.

Los fenómenos extremos repercuten más sobre la utilización del agua que las variaciones lentas del clima. Un aumento de la temperatura del orden de 3<sup>0</sup>C puede significar una disminución del escurrimiento del orden de 10 a 15%.

Se espera una disminución en el escurrimiento superficial medio y un incremento en las crecidas. Este nuevo escenario implicaría un aumento de la presión sobre la explotación de las obras hidráulicas. Allí donde el clima se torne más húmedo, costosas obras hidráulicas serán innecesarias y donde sea más seco, serán insuficientes para satisfacer las demandas de agua. Como la estructura y operación de las obras hidráulicas se basa

en los antecedentes hidrológicos locales, cualquier variación importante podrá tener consecuencias graves si no se toman acciones adecuadas

Con relación al riego, en dependencia de la dirección del cambio: se necesitaría más agua por aumento de la demanda y una reducción de la superficie bajo riego. Si la lluvia se redujera en un 20% y la ETP aumentara un 15%, la superficie de riego disminuiría en 75%.

#### *Recursos hídricos subterráneos*

En cuanto a los recursos hídricos subterráneos, el aumento del nivel del mar traerá consigo la contaminación del agua subterránea por intrusión salina y la reducción de su disponibilidad. En algunas zonas de la región, como es el caso de Cuba, durante las últimas cinco décadas, el desplazamiento de la cuña de intrusión, en sentido horizontal, ha alcanzado valores entre 0.3 y 3 km./año y, en la vertical, entre 0.5 y 5 m/año.

Los problemas de manejo de las cuencas subterráneas presentados históricamente, pudieran incrementarse de manera notable en un futuro. Para un aumento de 2 °C y con 0 % aumento de las lluvias y un aumento del nivel medio del mar en unos 0.30 m, en zonas muy bajas aproximadamente, la mezcla de aguas saladas se podría desplazar hasta 1.5 km tierra adentro.

La elevación de la cuña salina podría ser mayor, en dependencia de la cuantía de la reducción de las precipitaciones y del grado de explotación de los acuíferos. En cualquier caso, la reducción en la disponibilidad de agua subterránea sería significativa y en los acuíferos costeros poco potentes, la afectación podría conducir a la salinización definitiva de las reservas.

#### *Zonas costeras*

Se pronostica que el ascenso del nivel del mar y el incremento de la temperatura producirá severas afectaciones como: inundación y desplazamiento de humedales y costas bajas; erosión y retroceso de la línea costera; incremento de las inundaciones de tormenta; aumento de la salinidad en los estuarios y amenaza a los acuíferos de agua dulce; alteración de la amplitud de la marea en ríos y bahías; alteración de los patrones de sedimentación; decrecimiento de la cantidad de luz que reciben los fondos marinos.

El incremento del nivel del mar podría producir una reducción considerable de la superficie de las islas y zonas bajas costeras. La erosión y el retroceso de la línea de costa podrían afectar importantes recursos naturales como las playas, dentro de las cuales se desarrollan importantes actividades económicas.

#### *Obras hidráulicas*

Las obras hidráulicas (embalses, trasvases, canales de drenaje, pozo), aunque resultan ventajosos, también tienen efectos adversos a escala planetaria. Por su efecto sobre el régimen de pulsos hidrológicos, de cuyas fluctuaciones del agua dependen los humedales, deben recibir especial y cuando no se haya demostrado la imposibilidad de impactos o daños, como consecuencia de obras de ingeniería, es recomendable adoptar el Principio de Precaución (Tratado Agenda XXI).

Entre los principales efectos de estas obras cabe destacar: el anegamiento de valles con terrenos aprovechables de alta productividad biológica; la reducción del

entarquinamiento aguas abajo; la reducción aporte agua dulce y nutrientes a ecosistemas costeros; el aumento de la evaporación; aumento de enfermedades.

Otra de las consecuencias adversas es la alteración del régimen térmico local. Los embalses modifican la capacidad de absorción y reflexión entre la superficie y la atmósfera, ya que la superficie del agua absorbe 3 veces más calor que la tierra firme (albedo sup. acuática 0.09 y de tierra firme 0.26). Los embalses aumentan la absorción de energía en 20-40 erg/s·cm<sup>2</sup>. De igual forma, las áreas regadas incrementan la energía absorbida. Un área irrigada reduce el albedo 5 veces. Los cambios de la temperatura pueden romper o desplazar el reloj biológico de los organismos vivos así como alterar el clima regional y global

### *Contaminación*

La calidad de los recursos hídricos está siendo dañada por los efectos de las lluvias ácidas, la contaminación urbana e industrial y la contaminación química procedente de la agricultura. Por ejemplo, 1 litro de agua residual contamina aproximadamente 8 litros de agua limpia. La mitad de las enfermedades se transmiten a través del agua. Actualmente mueren por estas aguas 25 millones de personas todos los años, (60 % niños).

La contaminación marina por derrames de petróleo sigue causando impactos preocupantes sobre los humedales, especialmente sobre los ecosistemas marino-costeros. Los derrames de petróleo afectan a los manglares y sus organismos asociados. Pueden ser potenciados por las condiciones climáticas locales, por la circulación del agua, etc. Los derrames producen alteraciones en la biota acuática en general, y muy especialmente en la reproducción y crecimiento los bivalvos, causando daños e inclusive su muerte. La presencia de estos contaminantes con frecuencia se mantiene por largos períodos.

En algunos humedales de agua dulce, próximos al mar, como la Ciénaga de la Virgen (Cartagena) se debió conectar el lago con el mar, mediante obras hidráulicas, para aliviar los fenómenos de contaminación aguda derivados del ingreso de aguas servidas del área urbana de Bogotá. Hay una conexión permanente con el mar, que trajo mejoramiento de la calidad del agua, de la biodiversidad y de la pesca. Como efectos negativos se produjo la salinización de las aguas, más notable en algunas zonas (llegando al 39 por mil). Los impactos han sido diferentes en cada zona de la laguna costera, generándose cambios en los procesos de eutrofización y oxidación de la materia orgánica.

### *Sedimentación*

Algunas tierras húmedas de ríos con abundante transporte de sedimentos (Ej. ríos Apure, Tacuarí, Pilcomayo, Bermejo) están sufriendo procesos de colmatación como consecuencia del cambio climático y del mayor caudal que desplazan estos ríos durante las crecientes. Sin embargo, el proceso de colmatación también se está produciendo por aumento de la erosión en las cuencas, como resultado del aumento de las actividades agropecuarias. Este proceso requiere estudios especiales que permitan mitigar los efectos negativos.

Para evaluar la contaminación en sedimentos se recomienda utilizar el índice de geoacumulación y el factor de contaminación (FC) de Hakanson. El índice de

geoacumulación (Igeo) se determina a partir de la concentración del elemento determinada en el sedimento y la concentración media a nivel de base natural de ese elemento. El factor de contaminación (FC) es utilizado para estimar la contribución antrópica de metales y establecer la tendencia en los sedimentos de los sistemas lóticos estudiados. El FC es la relación entre la concentración del elemento registrada en el sedimento superficial y su concentración media a nivel base en la naturaleza según el tipo de sedimento. El nivel base en la naturaleza de un elemento en el sedimento puede considerarse como los valores medios globales de ese elemento en la corteza terrestre según el tipo de sedimento.

### *Eutrofización*

La *eutrofización* de los embalses y cuerpos de aguas se produce como consecuencia del arrastre en grandes cantidades de nutrientes. La población eutrófica sustituye la oligotrófica causando la desaparición del alimento de numerosas especies.



Figura 5. Canal en la Ciénaga de Zapata invadido por la presencia de *Myriophyllum*.

Los humedales de las planicies fluviales tienen una importante función en la retención de nutrientes en las aguas que vienen desde las tierras de cultivo. El fósforo puede disminuir a la tercera parte y el nitrógeno a la quinta parte luego de pasar por los humedales perimetrales, durante las inundaciones extraordinarias, como las ocurridas durante el huracán Mitch. El incremento de nutrientes desencadena procesos como la eutrofización y la invasión por plantas exóticas. Por esto las tierras húmedas juegan un papel muy importante en la conservación ecológica de los cuerpos de agua como lagos y ríos.

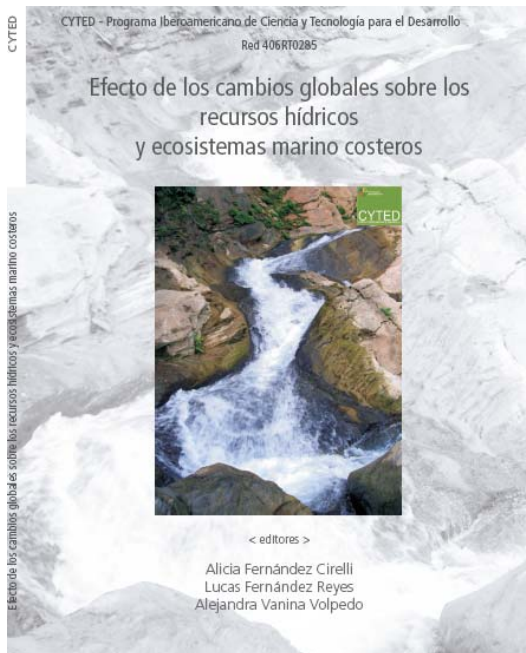
### Principales actividades de la Línea Temática 3.



recursos hídricos”. Fecha: 25-27 de julio de 2008. Lugar: Costa Rica. Participaron 96 especialistas de 12 países.

- Publicación de monografía sobre los efectos del cambio global en los recursos hídricos y ecosistemas marino costeros.

Incluye numerosos trabajos relacionados con los siguientes aspectos:



- cambio climático y el agua en la región del Caribe;
- el cambio global y los ecosistemas marinos costeros (casos de Bahía Samborombón en Argentina, los manglares de la península de Nicoya en Costa Rica y los ecosistemas marinos costeros de Colombia);
- las características termohalinas de las aguas de la plataforma cubana;
- los efectos del cambio global en la dinámica de los acuíferos de (caso Santa Cruz en Costa Rica)
- la identificación dinámica de las fuentes de humedad en la cuenca del Orinoco;
- los nutrientes en lagunas sometidas a alteraciones antropogénicas (caso de la cuenca baja del río Orinoco);
- indicadores y efectos potenciales del cambio climático sobre los humedales del Paraguay;
- el cambio climático y las actividades agropecuarias en humedales costeros.

#### ***Línea 4. Efecto de los cambios globales sobre la biodiversidad, la vulnerabilidad de especies y la resiliencia***

Entre las actividades antrópicas y naturales de carácter global que más afectan la biodiversidad cabe destacar:

- la silvicultura (alteración del hábitat, disminución de la biodiversidad, aporte de sedimentos a los cuerpos de agua, aumento de la erosión);
- la agricultura (modificación del paisaje, alteración y hábitat, aporte de agroquímicos y nutrientes a los cuerpos de agua, introducción de especies, cultivos transgénicos, modificación de las cadenas tróficas, disminución de la cantidad y calidad del agua)
- la ganadería (compactación del suelo, aporte de nutrientes, incorporación de especies animales y vegetales exóticas, aporte de compuestos químicos, modificación de las cadenas tróficas naturales);
- la minería (eliminación de la cobertura vegetal, modificación del paisaje, efluentes con contaminantes, extracción de agua);
- la acuicultura (aporte excesivo de nutrientes: N P; aporte de compuestos químicos; capturas en estadios temprano: huevos, larvas, juveniles; escape de especímenes; incremento de la presión pesquera; alteraciones físicas del área);
- la industria (generación de residuales contaminantes, emisión de gases, ruido);
- la urbanización (alteración del paisaje, reducción de hábitat, fragmentación de ecosistemas, consumo de agua, residuales líquidos y sólidos);
- el cambio climático global.

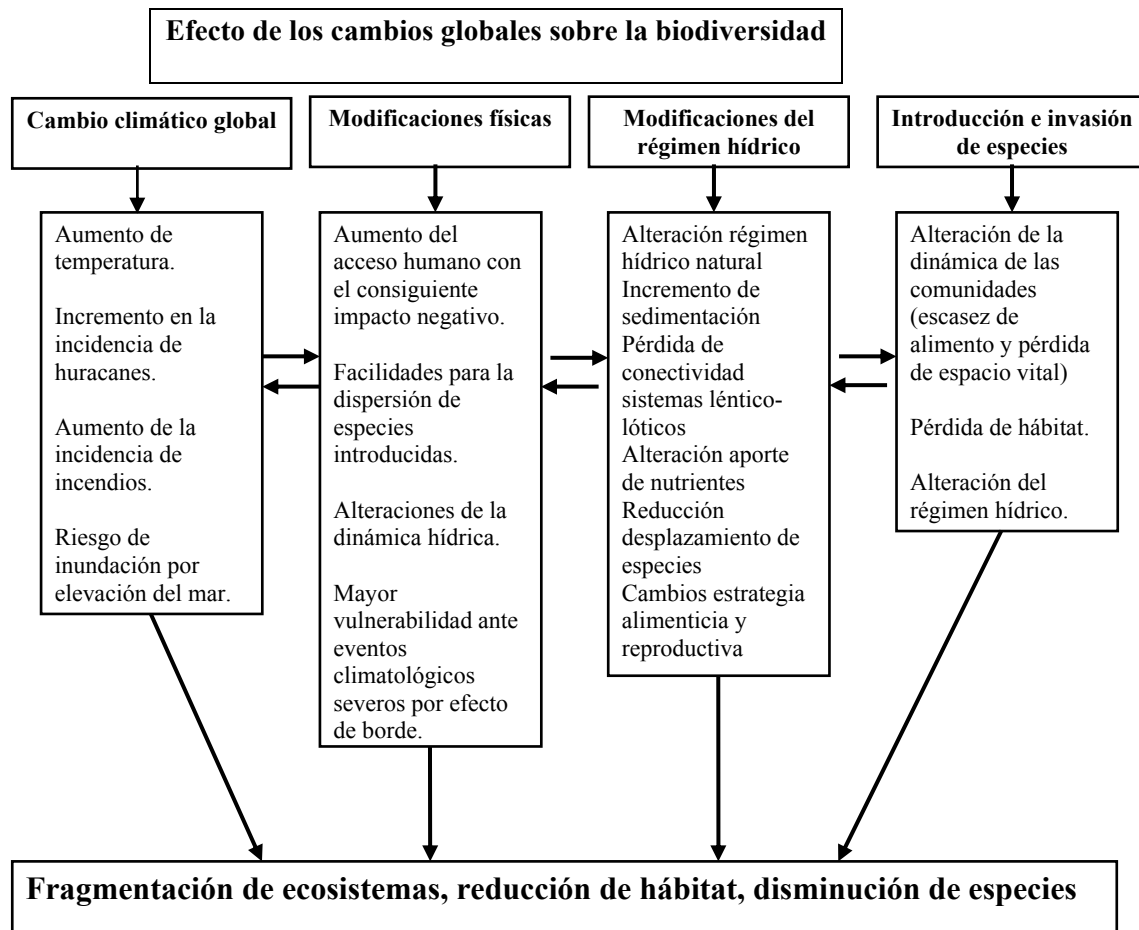
Los cambios antropogénicos generan alteraciones en los indicadores globales que se manifiestan en la transformación del uso de la tierra, la concentración de CO<sub>2</sub>, el uso del agua, la fijación del nitrógeno, la invasión de plantas exóticas, la extinción de aves, las pesquerías.

Una de las grandes amenazas que confrontan los humedales de Iberoamérica es la fragmentación y deterioro de ecosistemas y su insuficiente restauración. La fragmentación y destrucción de los ecosistemas pueden ser de origen natural o producto de las actividades humanas. La fragmentación en esencia se puede definir como un proceso de subdivisión de un ecosistema continuo en otras unidades aisladas entre sí y derivadas de este. Entre las principales causas de la fragmentación, se pueden relacionar los incendios forestales, las trochas contra incendios, la infraestructura vial, la canalización las construcciones civiles y las áreas agrícolas, entre otras.

La regulación de caudales mediante embales y otras obras hidrotécnicas produce, al menos tres tipos de cambio en los humedales con repercusión sobre la diversidad: cambios físicos mediante la alteración del régimen hídrico natural, el incremento de la sedimentación en la zona embalsada y la pérdida de conectividad sistemas léntico-lóticos; cambios químicos determinados por la limitación o supresión del aporte de nutrientes a las partes bajas y ecosistemas costeros y su correspondiente empobrecimiento biológico; cambios biológicos condicionados por la reducción en la capacidad de desplazamiento de determinadas especies, cambios en la estrategia alimenticia y reproductiva con la consiguiente disminución de la riqueza de especies, dominancia de pocas especies y la aparición de especies invasoras.

a introducción de especies exóticas constituye un serio problema para la biodiversidad en los humedales de la región. En Cuba, por ejemplo, la introducción conciente o accidental de especies como *Cayepu* (Melaleuca), Casuarina, Marabú; *Myriophyllum*

*pinnatum* (*Miriofilum*), y *Claria sp*, ha afectado extensas zonas de la Ciénaga de Zapata. El desarrollo de la acuicultura con especies foráneas de peces como el Clarias en embalses construidos en las zonas de alimentación del humedal, permitió la llegada accidentalmente de esta especie a la Ciénaga, durante las crecidas y derrames de las presas. Su resistencia y adaptabilidad al medio, su talla y voracidad la convierten en un serio peligro para muchas especies autóctonas del humedal, algunas de ellas endémicos locales, con las que actualmente comparte el hábitat. Esta situación es considerada un problema ambiental crítico para la biodiversidad de la Ciénaga.



Los manglares, por su posible capacidad de adaptación al cambio climático y la función protectora de los humedales marino-costeros, serán abordados de modo particular en esta línea temática. La vegetación de manglar, por las características del ambiente en que se desarrolla y las adaptaciones de las plantas a este ambiente, puede constituir una barrera protectora de los territorios interiores ante el ascenso del nivel medio del mar. En Cuba los manglares representan el 4.8% de la superficie del país y ocupan el 70 % de las costas (Menéndez, L, 2007).

Entre las principales adaptaciones de este tipo de vegetación se encuentran su capacidad de vivir en un ambiente inundado y salino, y la presencia de sistemas de raíces diferenciados en las especies vegetales que conforman esta vegetación, pero con capacidad de adaptarse a condiciones cambiantes con aumento del nivel del agua del mar debido al cambio climático. La especie *R. mangle* con sus raíces zancudas y la gran

dispersión de propágulos con capacidad de colonizar territorios inundados, conforma la primera barrera protectora. Tanto el sistema de raíces aéreas (neumatóforos) de *A. germinans* como de *L. racemosa* pueden conformar una barrera y por tanto contribuir a retener parte del agua debido al incremento del nivel mar, mitigando los efectos negativos.

Se puede afirmar que las zonas costeras donde, la franja de bosques de mangle alcanza mayor ancho, tendrán mayores posibilidades para la protección de la costa ante el ascenso del nivel medio del mar, a la vez, donde el bosque de mangle sea más alto, vigoroso y con buena salud, aumentará su efectividad protectora. El ecosistema de manglar posee resiliencia ecológica y por lo tanto adaptación al cambio.

#### Principales actividades de la Línea Temática 4.



- ③ VII Jornadas iberoamericanas sobre efectos de los cambios globales sobre la biodiversidad en humedades de Iberoamerica. Fecha: 9 al 13 de julio de 2007. Lugar: La Antigua, Guatemala. Participaron: 5 profesores y más de 30 alumnos de 16 países iberoamericanos.

- ③ Taller “Cambios Globales y Medio Ambiente”: Tendencias mundiales, resultados y proyecciones de trabajo. Lugar: La Habana, Cuba. Fecha: 25 y 26 de marzo de 2008. Participaron 92 especialistas de 5 países.

- ③ VI Simposio Internacional Humedales. Lugar: Ciénaga de Zapata, Cuba. Fecha: 5 al 9 de noviembre del 2007. Participaron más de 100 especialistas de 9 países.

- ③ III Taller Educación ambiental y manejo Integrado costero. Lugar: Varadero, Cuba. Fecha: 15 al 17 mayo 2007.

- ③ Curso Internacional sobre EIA y EAE para Manejo de Humedales. Lugar: Panamá. Fecha: 19 nov a 5 dic 2007.





- Publicación de monografía sobre los efectos del cambio global en la biodiversidad.

En esta monografía se resumen las experiencias de diferentes especialistas sobre los efectos de los cambios globales en:

- la biodiversidad de los humedales iberoamericanos en diferentes taxones claves (fitoplancton, zooplancton, peces, aves, vegetación) y en comunidades de ecosistemas emblemáticos templados y tropicales, considerando como ejemplos los humedales del noreste de Argentina, del Delta del Paraná, y los manglares de Cuba.

-la intervención humana expresada a través de los cambios en el uso de la tierra y sus implicancias sobre la biodiversidad terrestre en Uruguay y la biodiversidad acuática de ríos Andino-Amazónicos en Colombia; la contaminación y el deterioro de ecosistemas acuáticos por diferentes xenobióticos (metales pesados y compuestos orgánicos) y su efecto sobre microalgas e invertebrados (cangrejos); la fragmentación de los humedales costeros cubanos y la introducción de especies (pejerreyes) en diferentes hábitats y sus impactos.



-los efectos de eventos extremos (sequías e inundaciones) y su efecto sobre los recursos de los humedales y su uso, tomando como ejemplo al coipo o nutria (*Myocastor coypus* Molina, 1782) en el Delta Medio del Río Paraná (Argentina).

-los efectos climáticos/oceanográficos de intensidad como El Niño Oscilación del Sur (ENOS) sobre el zooplancton marino y peces de importancia comercial para Cuba.

### ***Línea 5. Efecto de los cambios globales sobre la seguridad alimentaria y la salud humana.***

#### *Seguridad alimentaria*

El tema de la *seguridad alimentaria* es apremiante en América Latina. Alrededor 53 millones de latinoamericanos y caribeños padecen de desnutrición, lo que representa el 10% del total de la población en la región. Sólo en América Central alrededor de 8.6

millones de personas viven en las áreas rurales de un "corredor de sequía", expuestas a desastres naturales y enfrentan escasez periódica de alimentos (PMA-ONU 2002).

El deterioro ambiental, como consecuencia de factores naturales y antropogénicos, es sin duda una de las causas de la pérdida de capacidad de los ecosistemas de producir alimentos. Se estima que en América Latina y el Caribe alrededor de tres millones de hectáreas de tierras agrícolas han tenido pérdidas significativas de productividad. La contaminación por uso excesivo o inadecuado de agroquímicos en suelo y en el agua es otro problema que afecta a los ecosistemas y la salud humana. La desertificación abarca ya considerables extensiones de América del Sur y la Cuenca del Caribe donde se destacan las zonas áridas en las Antillas Neerlandesas, Cuba, Haití, República Dominicana y en México.

En lo que respecta al impacto del cambio climático en la agricultura y silvicultura se pronostican cambios sustanciales en los rendimientos agrícolas; la producción total de los cultivos; la biomasa aérea de los pastos; las plagas y enfermedades; y los bosques y las plantaciones forestales. En el caso de los recursos bióticos del medio marino los principales impactos del cambio climático se producirán debido a las alteraciones que ocasione el incremento de la temperatura en los ciclos reproductivos, en la mayor incidencia de enfermedades, debido a lo cual el sector pesquero podría ser seriamente afectado. Entre posibles consecuencias en las pesquerías en aguas interiores se encuentran la alteración de los pulsos de inundación (intensidad y tiempo de duración), la red alimentaria acuática, la reproducción de los peces, el crecimiento y la estructura de las comunidades de peces.

Según la FAO, existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimentarias. La seguridad alimentaria implica el cumplimiento de las siguientes condiciones: oferta y disponibilidad de alimentos adecuados; estabilidad de la oferta, sin fluctuaciones ni escasez en función de la estación del año; acceso a los alimentos o la capacidad para adquirirlos; buena calidad e inocuidad de los alimentos.

Se vislumbran como soluciones la necesidad de erradicar la pobreza y las desigualdades sociales, introducir la dimensión ambiental en los procesos económicos y sociales, fortalecer las instituciones de capacitación técnica y vocacional, promover el desarrollo de los recursos humanos, implementar el trabajo cualitativo y analítico en los índices estadísticos que permita definir la vulnerabilidad económica, social y ambiental de los países afectados, promover acciones de innovación científica y tecnológica, fortaleciendo las instituciones de investigación y desarrollo y aumentando las fuentes actuales de financiamiento, desarrollar la microempresa.

Existen instituciones y organizaciones dedicadas a la investigación científica y a las actividades de servicios científicos técnicos con resultados y tecnologías para la producción, conservación de alimentos de forma sostenible. Pero Hay una limitada capacidad de gestión del conocimiento y la tecnología a nivel local unida a la complejidad del problema y la diversidad de los actores involucrados.

Uno de los objetivos planteados en esta línea temática es la recopilación e intercambio de conocimientos y experiencias dirigidas a fortalecer las capacidades para la gestión del conocimiento, las tecnologías y la innovación en el sector agroalimentario de la región a fin de contribuir a la seguridad alimentaria de la población. Para ello es necesario: determinar los principales factores que limitan la producción de alimentos y la seguridad alimentaria; seleccionar las demandas tecnológicas, productos y servicios

más apropiados para cada región y localidad que permitan garantizar la producción sostenible de alimentos y la seguridad alimentaria; capacitar los principales gestores, productores y otros actores involucrados en la asimilación de las tecnologías apropiadas y de sistemas organizativos flexibles para la innovación tecnológica en el sector agroalimentario.

Se precisa además, involucrar en este empeño a todos los actores: universidades y centros de Investigación generadores de conocimientos y de tecnologías; instituciones a cargo del monitoreo y realización de la capacitación, gestión y transferencia de conocimientos y tecnologías; productores de pequeñas y medianas empresas relacionadas con la producción de alimentos, campesinos y comunidades; gobiernos y organizaciones locales.

### *Salud*

El tema de la relación variabilidad del clima / cambio climático y su impacto sobre la salud humana es objeto de preocupación por parte de la comunidad científica internacional. El cambio y la variabilidad climática han producido un impacto en la distribución y diversidad de las especies en los ecosistemas, lo cual ha posibilitado a algunas especies portadoras de microorganismos y patógenos, sobrevivir y reproducirse en latitudes más altas.

La variabilidad y el cambio climático inciden de manera directa o indirecta en: los cambios de transmisión biológica a través de la dinámica de los vectores y de los gérmenes; cambios ecológicos debido a la pérdida de la biodiversidad, alteración de hábitat y nicho ecológico, reubicación de comunidades y cambios en el ciclo de nutrientes; Cambios socioeconómicos como las migraciones, la pobreza, saneamiento, etc. Estos cambios determinan finalmente cambios en las manifestaciones epidemiológicas.

Otro aspecto de importancia práctica es el papel que juegan los contaminantes atmosféricos en los procesos del tiempo y el clima, teniendo un lugar predominante las nubes de polvo producidas en las tormentas del desierto, especialmente las del Sahara y las erupciones volcánicas.

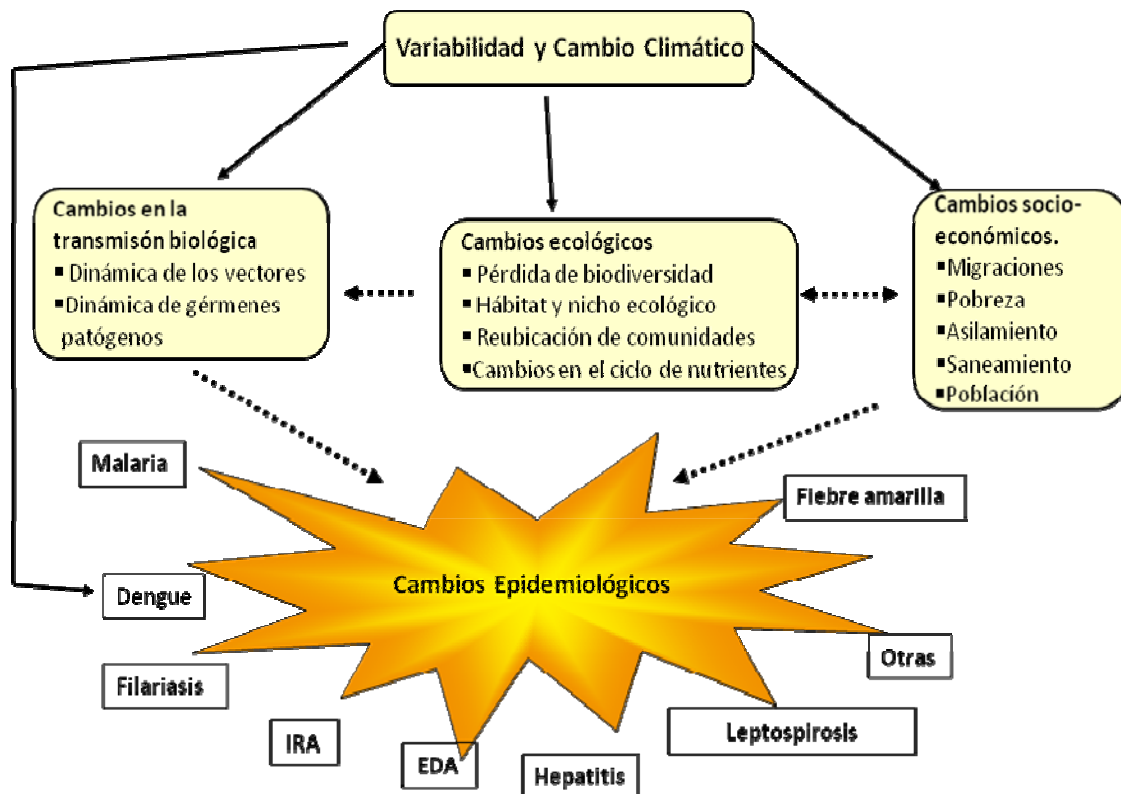


Figura 6. Modelo sistémico para el estudio del impacto de clima en la salud humana (Ortiz, 2005)

Como direcciones prioritarias de trabajo en este tema se plantea la necesidad de : comprender las interrelaciones entre los sistemas ambientales (natural y socioeconómico) bajo un enfoque ecosistémico considerando los vínculos complejos del clima y su variabilidad con los factores ambientales, socioeconómicos y la salud humana; estudiar la influencia del polvo del Sahara en el Caribe, así como otros contaminantes y su impacto en la salud humana; crear capacidades que faciliten la ampliación de los servicios climáticos especializados a la salud humana, incrementando la información a decisores y población en general, con el fin de asegurar una planificación y acciones efectivas en condiciones normales y ante contingencias de salud en el área.

Otra problemática de gran interés en esta línea temática la influencia de los cambios climáticos sobre el desarrollo y propagación de la gripe aviar o influenza A.

Las aves pueden actuar como hospederos mantenedores como es el caso de las Anseriformes (Anatidae) o como hospederos diseminadores como son las Charadriiformes (*Scolopacidae, Charadriide, Sternidae, Laridae*)

Las alteraciones de los humedales y su repercusión sobre los hospederos de la influenza puede estar dada los cambios en la composición de las especies en las comunidades y su distribución geográfica, alteraciones de los patrones migratorios, cambios en la densidad poblacional.

Los cambios climáticos pueden influir sobre las especies migratorias mediante la alteración en las respuestas fisiológicas (ej. fecundidad), la cronología de eventos vitales críticos (ej. Nacimientos, migraciones); la localización física, extensión y condiciones de las áreas de reproducción, el descanso e invernación, la alteración de la circulación atmosférica y oceánica, los cambios en los recursos alimentarios (UNEP/CMS, 2002).

La concentración de virus de influenza A en los humedales depende de la diversidad de especies de aves acuáticas presentes, la densidad de las aves, la estructura espacial de la población, estacionalidad y tiempo de residencia, volumen y características físico-químicas del agua (temperatura, turbidez, acidez).

Es preciso dirigir los esfuerzos a estudiar la ecología del virus de la influenza A en aves de la región, correlacionar indicadores ambientales (ej. climáticos) con indicadores de población de aves acuáticas hospedadoras del virus, incluir los aspectos físicos de los principales humedales en los escenarios de cambio climático, emplear enfoques integrados en el tema a nivel nacional e internacional con la cooperación entre especialistas en vida silvestre, manejo de humedales, ornitólogos, médicos, veterinarios, etc.

#### Principales actividades de la Línea Temática 5.

- VIII Jornadas iberoamericanas sobre efectos de los cambios globales en la salud humana y la vulnerabilidad alimentaria. Fecha: 2 al 6 de junio de 2008. Lugar: Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Participaron: 5 profesores y más de 30 alumnos de 16 países iberoamericanos.



- III Simposio Taller “Efecto de los cambios globales sobre la salud humana y la vulnerabilidad alimentaria en humedales”. Lugar: Panamá. Fecha: 7-9 de abril de 2008. Participaron 30 especialistas de 9 países.
- Publicación de monografía sobre los efectos del cambio global en la seguridad alimentaria y la salud humana.

La monografía es el resultado del esfuerzo de más de sesenta especialistas, entre autores y coautores, y está dirigida a la comunidad de investigadores, gestores, decisores y público en general vinculados al tema.

En ella se resumen los resultados de las investigaciones realizadas en diferentes países de Iberoamérica en los siguientes aspectos:

- vínculos entre medio ambiente, salud humana y seguridad alimentaria;
- cambio climático, humedales y enfermedades infecciosas;
- vínculos del dengue con los cambios climáticos y los tipos de vegetación;
- vulnerabilidad de los recursos naturales y los sectores productivos al cambio climático;
- dinámica espacio-temporal de la incidencia de malaria;
- vínculos entre la situación nutricional y epidemiológica;
- métodos y enfoques para el análisis de la seguridad alimentaria y su vulnerabilidad;
- efectos del cambio climático en ecosistemas agrícolas de montaña;
- efecto del cambio del uso del suelo en la economía local;

- uso de proteínas alimentarias alternativas;
- impactos de la contaminación de cuerpos de agua en agricultura;
- los eventos de sequía e impactos en el sector agrario, entre otros.

***Línea 6. Estrategias integradas de mitigación, rehabilitación y adaptación a los cambios. Metodología para estudio integral, ordenamiento territorial y gestión ambiental en humedales.***

Como estrategias de respuesta se perfilan diferentes medidas de adaptación (acciones orientadas a reducir la vulnerabilidad) y mitigación (acciones para reducir las emisiones netas).

La adaptación se apoya en los cambios en procesos, prácticas o estructuras para moderar o contrarrestar los daños potenciales o tomar ventaja de las oportunidades asociadas con los cambios en el clima (IPCC 2001).

La adaptación es necesaria para enfrentar los impactos resultantes del inevitable calentamiento debido a las emisiones pasadas. Asimismo, será necesaria la adaptación para hacer frente a los impactos del cambio climático, que resulten inevitables debido a las emisiones pasadas. Aunque las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero permanecieran a los niveles del año 2000, para finales de siglo se produciría un calentamiento adicional de 0.6 °C provocado por las emisiones pasadas.

La vulnerabilidad al cambio climático puede exacerbarse por la presencia de otros factores estresantes. La vulnerabilidad futura no depende sólo del cambio climático sino también de las vías para el desarrollo. El desarrollo sostenible puede reducir la vulnerabilidad al cambio climático.

La mitigación puede eliminar, reducir o retardar los impactos. La Convención de Cambio Climático propone en su Artículo 2 lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida las interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Ningún sector o tecnología, por sí solo, puede asumir todo el reto de la mitigación. Por tanto, se requieren respuestas integradas de carácter multisectorial.

Las inversiones en infraestructura energética para la mitigación son elevadas por lo que resulta más efectivo invertir en el mejoramiento de la eficiencia energética de los usos finales, que en el incremento de la oferta energética.

La complejidad del tema tratado y la necesidad de elaborar estrategias de adaptación anticipada más precisas en cada sector obliga a hacer uso de la experiencia internacional acumulada y de nuevos métodos de análisis y evidencias científicas sobre las características del cambio climático. En este sentido resulta estratégico el desarrollo de acciones dirigidas a:

- Fortalecer los sistemas de observación de los diferentes componentes del medio ambiente, en especial, aquellos que se relacionan con las variables climáticas, hidrológicas y oceanológicas.
- Desarrollar nuevas investigaciones para evaluar el impacto de la variabilidad natural del clima, crear sistemas de predicción climática a diferentes plazos temporales.

- Continuar desarrollando las investigaciones relacionadas con el impacto del cambio climático, utilizando las nuevas evidencias científicas sobre sus características y empleando métodos más sofisticados de análisis que posibiliten realizar evaluaciones más integrales.

#### *Medidas en el sector de los recursos hídricos*

Como principales medidas a adoptar en este sector cabe destacar: el monitoreo y evaluación de los cuerpos de agua; la reforestación de franjas hidrorreguladoras; la sustitución de técnicas de riego ineficientes por nuevas tecnologías; aplicación del riego en función de la demanda climática y las disponibilidades de agua; el fomento de la siembra de linderos, franjas forestales y bosques en realengos a fin de incrementar la DB en los agroecosistemas; el perfeccionamiento de los planes de siembras en función de las condiciones edafoclimáticas de cada lugar; el incremento de la disciplina tecnológica; el desarrollo de nuevos hábitos de consumos y estilos de vida ajustados a las disponibilidades reales de agua; el fortalecimiento de la conciencia ciudadana sobre el ahorro y uso eficiente del agua y el cuidado del medio ambiente. Otros aspectos de interés pueden ser: la disminución de las pérdidas en redes y conductoras de acueducto, canales y equivalentes y su rehabilitación; la reducción de la carga contaminante en los cuerpos receptores superficiales y subterráneos.

Otro tema importante es la gestión integrada de los recursos hídricos concebida como mecanismo para garantizar la administración y uso racional del recurso hídrico mediante su conservación, mejoramiento, rehabilitación y monitoreo y el control de la actividad del hombre en esta esfera. El enfoque ecosistémico aplicado a la gestión integrada de los recursos hídricos presupone la gestión, conservación y uso sostenible del agua, suelos, bosques y recursos vivos.

#### Principales actividades de la Línea Temática 6.

- Taller Evaluación integral de ecosistemas prioritarios de Iberoamérica: Amenazas, vulnerabilidades e Impactos. Fecha: 15 al 17 de junio de 2009. Lugar: I. Margarita, Venezuela. Participaron 50 especialistas de 9 países.
- Taller Estrategias integradas de mitigación, rehabilitación y adaptación a los cambios. Fecha: 26 al 28 de agosto de 2009. Lugar: Buenos Aires, Argentina. Participaron más de 80 especialistas de 10 países.
- Publicación digital de los trabajos del Taller sobre estrategias integradas de mitigación, rehabilitación y adaptación a los cambios

### **CONCLUSIONES**

Los países de la comunidad iberoamericana cuentan con extensas zonas de humedales que son portadoras de un enorme potencial natural y un acervo histórico cultural de gran relevancia. La diversidad biológica de los ecosistemas, los atractivos naturales de altos valores escénicos, el patrimonio histórico cultural y la existencia de extensas zonas de playas de gran calidad, confieren a estas regiones condiciones excepcionales para el desarrollo del turismo y otras actividades económicas. Sin embargo, la relativa fragilidad de los ecosistemas de humedales y las amenazas globales que sobre ellos se

cierte, determina la necesidad de lograr una correcta aplicación de esquemas de manejo sostenible con estrategias de adaptación y mitigación que garanticen el desarrollo económico sin afectar los recursos del ambiente natural y el patrimonio socio cultural de estos ecosistemas. El desarrollo sostenible en estas zonas solo es posible mediante el establecimiento de un sistema integrado de gestión, que revalorice en justa medida estos ecosistemas, partiendo de los principios de viabilidad económica, sostenibilidad ecológica y pertinencia social para el territorio. Para ello se requiere un conocimiento adecuado sobre la existencia, estado y ubicación de los recursos, condiciones naturales y de las capacidades de carga para distintas actividades humanas, así como de sus interrelaciones funcionales, ya que la ruptura la estabilidad funcional del ecosistema puede acarrear trastornos irreversibles en los servicios ambientales y el bienestar humano.

La Red CYTED 406RT0285 ha incorporado a un amplio grupo de países portadores de una gran diversidad y extensión de zonas de zonas húmedas representativas de relevancia a nivel regional en los aspectos ecológicos y socioeconómicos, entre las que se encuentran los humedales altoandinos de Chile y Bolivia, el Pantanal de Brasil, los humedales del Chaco en Paraguay, los llanos inundables y el delta del Orinoco en Venezuela, el humedal de Samborombón en Argentina, el delta del Cauto en Cuba, el humedal del Golfo de Montijo en Panamá, los humedales de la Biosfera Maya y Chocón Machacas en Guatemala y los grandes sistemas marino costeros del Sur de Portugal. La importancia de la Red para Iberoamérica es evidente si se tiene en cuenta el aporte de conocimientos y experiencias necesarios para la identificación de procesos de cambio global que afectan a los humedales y los bienes y servicios que proporcionan a los pueblos de la región, así como para la elaboración de estrategias efectivas de mitigación, rehabilitación y adaptación.

La Red ha permitido crear una infraestructura funcional (mecanismos de capacitación e intercambio de experiencias, publicaciones sistemáticas, Web, Revista electrónica, Foro de discusión, etc.) y una masa crítica de especialistas de universidades, centros de investigación, empresas productivas y ONGs de la región iberoamericana que sostiene interacciones científicas estables. Asimismo ha desarrollado un banco de conocimientos sobre los humedales, amenazas, conservación y uso racional y han llevado a cabo una amplia divulgación de los resultados entre investigadores, docentes, gestores y tomadores de decisión.

La Red se ha vinculado estrechamente con los principales temas que desarrolla la agenda científica del Instituto Interamericano para el estudio del Cambio Global IAI (Tema II. Estudios comparativos de ecosistemas, biodiversidad, uso de la tierra y recursos hídricos / Tema IV. Estudio de la Dimensión Humana del Cambio Global, variabilidad climática y uso de la tierra). Asimismo, aborda aspectos de incuestionable interés científico y práctico para organizaciones internacionales como la Convención Ramsar, Wetland Internacional, UICN, CATHALAC, así como diversas entidades (ONG, Centros docentes y de investigación, empresas productivas) de Iberoamérica. De forma cuantitativa, los resultados alcanzados por la Red se pueden resumir de la forma siguiente:

#### Actividades de capacitación

- Realización de 7 cursos y jornadas de especialización con la participación de 205 especialistas



#### Actividades de intercambio de experiencias y transferencia de conocimientos

- Realización de 25 talleres, simposios y seminarios con la participación de más 800 participantes

#### Actividades de difusión

- Publicación de 5 monografías sobre los principales aspectos del cambio global y los humedales
- Página WEB
- Boletín Electrónico semestral
- Base bibliográfica sobre cambio climático y directorio de especialistas.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- CASTRO, M y FERNÁNDEZ, L (Eds). 2006. Monografía “Gestión sostenible de humedales”. Santiago de Chile, 2006. ISBN 9876-43-3591-2 , 455p
- CONFALONIERI, U, MENDOZA, M. y FERNÁNDEZ, L. (Eds). 2009. Monografía “Efecto de los cambios globales sobre la salud humana y la seguridad alimentaria”. Buenos Aires. 2009. 290 pp.
- COP7 DOC. Convención Ramsar 24, 1999
- FERNÁNDEZ, L y MOURA, D. (Eds). 2005. Humedales de Iberoamérica. Experiencia de estudio y gestión. La Habana. ISBN 959-270-061-3, 355p.
- FERNÁNDEZ, A., FERNÁNDEZ, L. y DI RISIO, C (Eds). 2004. Serie: El agua en Iberoamérica. Vol 10 “Calidad de agua y manejo de ecosistemas acuáticos”. Buenos Aires. ISBN 987-43-8080-2
- FERNÁNDEZ, A, FERNÁNDEZ, L y VOLPEDO, A. (Eds). 2007. Monografía “Efecto de los cambios globales sobre los recursos hídricos y los ecosistemas marino costeros”. Buenos Aires. 2008. ISBN 978-987-96413-2-3 pp153
- FORMULARIO RED 406RT0285 “Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica”, 2005, Programa CYTED.
- GUTIÉRREZ PÉREZ, T., CENTELLA ARTOLA, A. y LIMIA MARTÍNEZ, M. 2001. Impactos del Cambio Climático en Cuba. Revista Ciencia, innovación y desarrollo. 6 (1): 26-29.
- ICGC ACC. 1990. Estudio de los grupos Insulares y Zonas Litorales del Archipiélago Cubano con Fines Turísticos. Editorial Científico-Técnica, La Habana, Cuba. Coordinador científico: Lucas Fernández Reyes. Tomos I, II, III, IV.
- IES. PNCT 2001. Bases ecológicas para la restauración de manglares en áreas seleccionadas del archipiélago cubano y su relación con los cambios climáticos globales. *En*: Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano. La Habana.
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS. El manejo de los recursos hídricos ante el cambio climático: medidas de mitigación en Cuba. I Congreso manejo integrado de los recursos hídricos. 4 de julio del 2007.
- INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS. Los recursos hidráulicos y su rol en el desarrollo sostenible cubano. Decenio internacional para la acción “el agua fuente para la vida 2005-2015”. La Habana, 22 de marzo de 2007
- IPCC –INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996. Climate Change 1995 - Impacts, Adaptations and mitigation of climate change: scientific technical analysis. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge.
- MENÉNDEZ, L. y PRIEGO, A. 1994. Los manglares de Cuba: Ecología. *En*: Suman,

- D. (ed) (1994): El ecosistema de manglar en América Latina y la Cuenca del Caribe: su manejo y conservación. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science & The Tinker Foundation. 64-75.
- NEIFF, JJ. 2004. Monografía “Humedales de Iberoamérica”. La Habana. ISBN 959-270-036-2
- ORTEGA, F, FERNÁNDEZ, L y VOLPEDO, A. (Eds). 2009. Monografía “Efecto de los cambios globales sobre el ciclo del carbono”. Buenos Aires. 2009. 143 pp.
- TALLER ZAPATA. 2006. Vulnerabilidad de la Ciénaga de Zapata ante los cambios climáticos globales. Propuesta de alternativas para la gestión- reducción de riesgos. Experiencias locales. Tania Piñeiro Cordero, Eduardo Abreu Guerra, Juliett González Méndez.
- VOLPEDO, A. y FERNÁNDEZ, L (Eds). 2008. Monografía “Efecto de los cambios globales sobre biodiversidad”. Buenos Aires. 2008. ISBN 978-987-05-5533-9, 294 p.
- VI CONVENCION INTERNACIONAL SOBRE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO. DISPONIBILIDAD DE AGUA, MANEJO Y EFECTOS INTERACTIVOS. La Habana. 2 al 6 de julio del 2007. Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA). MSc. Candelario Alemán García

# EL PROYECTO DE BIODIVERSIDAD IABIN COMO ESTRATEGIA PARA EL ABORDAJE DE CAMBIOS GLOBALES EN ECOSISTEMAS DE AMÉRICA

*The IABIN biodiversity Project as a strategy for dealing with global changes in ecosystems of America*

**Alba Puig**

División Limnología (Area Ecología), Museo Argentino de Ciencias Naturales  
Angel Gallardo 470. C1405DJR-Ciudad de Buenos Aires. Argentina.  
apuig@macn.gov.ar

## RESUMEN

Los cambios en la biodiversidad están repercutiendo directa o indirectamente sobre el bienestar humano, ya que comprometen el funcionamiento de los ecosistemas y su capacidad de generar servicios esenciales para la sociedad. El objetivo de este trabajo es aportar, integrando fuentes bibliográficas relevantes, un marco conceptual sobre ecosistemas y biodiversidad en relación a cambios globales, para luego presentar una iniciativa a escala continental, como una estrategia para el abordaje regional de las problemáticas mencionadas. La evaluación de la integridad de ecosistemas y la restauración ecológica representan dos campos emergentes que requieren disponer de indicadores efectivos. Se recomienda adoptar un enfoque ecosistémico considerando al ecosistema como la unidad funcional para la gestión ambiental. La biodiversidad abarca todo el espectro de organización biológica, sus componentes estructurales y funcionales, y las diferentes escalas de espacio y tiempo. Sin embargo, la biodiversidad a nivel de ecosistemas es un concepto aún en construcción. La investigación y el abordaje de problemas complejos de gran escala requieren el desarrollo de estrategias de cooperación entre distintos países. El enfoque informático representa una alternativa para integrar y comparar información generada por múltiples fuentes, procurando interoperabilidad mediante el registro de metadatos, la adopción de protocolos y estándares. A escala del continente americano se está desarrollando el Proyecto de biodiversidad IABIN, cuya Red Temática de Ecosistemas avanza en la elaboración de una clasificación panamericana estandarizada de referencia para ecosistemas terrestres, marinos y acuáticos, así como en un sistema de cruzamiento entre distintas clasificaciones. Grupos de investigación argentinos contribuyen a la digitalización de información. Nuestra institución participa en el consorcio de coordinación, aporta expertos a los respectivos comités y desarrolla un subproyecto para documentar metadatos de bibliografía relevante de ecosistemas de países o regiones de América.

**Palabras clave:** cambios-globales; biodiversidad; ecosistemas; ecoinformática; enfoque ecosistémico; conservación; restauración; América

## SUMMARY

Biodiversity changes are directly or indirectly affecting human well-being, since they compromise the ecosystem functioning and their capacity for generating essential services for the society. The object of this work is to provide a conceptual framework of ecosystems and biodiversity in relation to global changes, by the integration of relevant

bibliography; further an initiative at continental scale will be presented as a regional strategy for dealing with the mentioned issues. The evaluation of ecosystem integrity and the ecological restoration are two emerging fields that need to have effective indicators. An ecosystem approach, considering the ecosystem as a functional unit for environmental management purposes, is recommended to be adopted. Biodiversity covers all the spectrum of biological organization, their structural and functional components, and the different time and space scales. However biodiversity at the ecosystem level is yet a concept under construction. Research and dealing with complex problems at large scale need the development of cooperation strategies among different countries. The Informatics approach provides an alternative method for integration and comparison of information from multiple sources, improving interoperability by adoption of protocols and standards as well as metadata documentation. At the American continent scale the IABIN Project of biodiversity is in development; its Ecosystem Thematic Network is in progress of elaborating a standardized inter-american reference classification for terrestrial, marine, and freshwater ecosystems as well as a cross-walk system among different classifications. Argentine research groups are contributing to the digitalization of information. Our institution participates in the coordination consortium, provides experts to each committee, and is developing a sub-project about metadata documentation of relevant bibliography on ecosystems of American countries or regions.

**Key words:** global-changes; biodiversity; ecosystems; ecoinformatics; ecosystem-approach; conservation; restoration; America

## INTRODUCCIÓN

La Evaluación de Ecosistemas del Milenio puso de manifiesto las estrechas relaciones entre la biodiversidad, el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. La biodiversidad del planeta está siendo severamente afectada por las modificaciones, sin precedentes, inducidas por las actividades humanas sobre los ecosistemas, entre las cuales se destacan el cambio de usos del suelo, la alteración de los ciclos biogeoquímicos, la destrucción y fragmentación de hábitats, la introducción de especies exóticas y la alteración de las condiciones climáticas (MEA, 2005). Los cambios en la biodiversidad están repercutiendo directa o indirectamente sobre el bienestar humano, ya que comprometen el funcionamiento de los ecosistemas y su capacidad de generar servicios esenciales para la sociedad (Díaz *et al.*, 2006).

Actualmente, los variados e intensos movimientos transfronterizos (contaminantes, personas, etc.) ponen en evidencia que los problemas ambientales, sociales y económicos son globales y requieren soluciones también globales (Gallopín, 1990).

El objetivo de este trabajo es aportar, mediante la integración de fuentes bibliográficas relevantes, un marco conceptual sobre ecosistemas y biodiversidad en relación a cambios globales. A partir de ello presentar una iniciativa a escala continental, el Proyecto IABIN (Red Interamericana de Información sobre Biodiversidad), con especial referencia a su Red Temática de Ecosistemas, como una estrategia para el abordaje regional de las problemáticas mencionadas.

## CAMBIO GLOBAL

El cambio global comprende modificaciones actuales producidas por cambios en el uso del suelo a nivel mundial; cambios geopolíticos; degradación del medio natural; abuso

en la explotación de los recursos naturales renovables y no renovables; y los consecuentes procesos de pérdida de biodiversidad desertificación, y el calentamiento global, así como el cambio climático (Thiessen *et al.*, 2007). La intensa conexión actual entre las distintas regiones del planeta (modelos económicos globales, división internacional de las economías) agudiza estas transformaciones.

La población mundial va en aumento y se evidencia además, una acentuada urbanización, es decir, una proporción creciente en centros urbanos. El agua dulce se está volviendo uno de los factores más críticos para la humanidad, dado que su demanda va en aumento mientras se incrementan los problemas para disponerla en cantidad y calidad apropiada (Varis, 1999).

Asimismo, se registra un aumento de enfermedades ambientales, aumento de especies invasoras y extinción masiva de especies (reconociéndose al deterioro o pérdida de hábitat como un importante factor causal).

En las últimas décadas hay una tendencia a la reducción en tipos de ecosistemas y a su simplificación debido a actividades y perturbaciones humanas, lo que pone en peligro la estabilidad de los procesos biofísicos de la vida. El desafío consiste en abordar cómo reparar el daño ya ocasionado a los ecosistemas y cómo prevenirlo o mitigarlo en adelante, en un escenario de cambio.

## **CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS**

Los ecosistemas poseen numerosos elementos e interacciones, manifiestan alta heterogeneidad espacial y varían en el tiempo, son capaces de autoorganizarse y disponen de variados mecanismos de regulación de distinta jerarquía. De acuerdo a las condiciones prevalecientes, pueden reemplazar componentes, procesos e, incluso, mecanismos de regulación, en función de utilizar mejor los recursos disponibles o de absorber perturbaciones (Jørgensen, 1999), por lo que se los considera sistemas adaptativos complejos. Esta complejidad dificulta su consideración operativa cuando se procura delimitarlos, clasificarlos o evaluar su integridad.

Básicamente, se considera que un ecosistema posee integridad ecológica cuando mantiene tanto su diversidad biológica, como su modo de funcionamiento natural. La integridad de un ecosistema, de acuerdo a la definición más aceptada (Karr y Dudley, 1981), refiere a su capacidad de sustentar y mantener una comunidad de organismos balanceada, integrada y adaptativa con una composición, diversidad y organización funcional comparable a las de hábitats naturales de la región. Las funciones de los ecosistemas (regulación atmosférica, regulación climática, amortiguación de perturbaciones, regulación hídrica, formación y retención del suelo, regulación de nutrientes, control biológico, polinización, provisión de refugio, alimento, materiales, recursos genéticos, etc.) son relevantes para el funcionamiento planetario. La humanidad obtiene el beneficio de bienes y servicios ecosistémicos (abastecimiento, regulación, culturales) los que valora subjetivamente de diferente modo (dependiendo de culturas, épocas, etc.), pero dichos beneficios tienden a perderse como consecuencia del fuerte deterioro generalizado.

El manejo de un ecosistema poco perturbado apunta a su conservación, mientras en uno con un grado de perturbación que superó determinados límites se enfoca hacia su restauración.

La restauración ecológica es el proceso activo de ayudar a la recuperación de un ecosistema degradado, dañado o destruido hacia un estado de referencia (adaptable y autosostenible en cuanto a su estructura, composición de especies y función, que se

integre al paisaje circundante y brinde medios de vida sostenibles) (Society for Ecological Restoration: [www.ser.org](http://www.ser.org)). En sistemas resilientes (con capacidad de absorber perturbaciones y reorganizarse ante los cambios de modo de mantener la misma estructura, funcionamiento y mecanismos de autorregulación (Walker *et al.*, (2004)) las intervenciones dirigidas a remover o mejorar factores que forzaron al sistema a niveles inapropiados podrían ser suficientes para permitir su recuperación. Sin embargo en los casos en que se superaron los límites de resiliencia se necesitarán además intervenciones posteriores (Rapport y Whitford, 1999). Estas intervenciones pueden ser bióticas (reintroducción de especies nativas, remoción de especies invasoras, etc.) o abióticas (reestablecimiento de patrones de disturbio en frecuencia y amplitud apropiadas, reconstrucción de estructura del sistema, etc.) (Hobbs y Harris, 2001).

Tanto la evaluación de la integridad de ecosistemas como la restauración ecológica representan dos nuevos campos emergentes enfocados uno al diagnóstico y el otro al tratamiento. Harris y Hobbs (2001) consideran que ambos campos, de carácter holístico o interdisciplinario, resultan potencialmente complementables sinérgicamente si se logra aplicar conceptos de integridad ecosistémica de un modo operativo en proyectos reales de restauración. En este sentido, resulta crucial identificar indicadores de integridad efectivos y medibles. Los enfoques de restauración *ad hoc* (específico) pueden neutralizar problemas locales en el corto plazo, pero causar un daño mayor al funcionamiento del sistema cuando se evalúa a largo plazo y en un contexto más amplio de paisaje. En realidad, muchas prácticas de pretendida restauración deterioran el ambiente aún más, en vez de recuperarlo, por lo que resulta crucial conocer el funcionamiento de un ecosistema para encaminarse apropiadamente hacia su restauración ecológica (Comín, 2002; Zamora, 2002).

### **ENFOQUE ECOSISTÉMICO**

Un modo sostenible de vida depende de conservar la vitalidad y diversidad del planeta. La Convención sobre Diversidad Biológica (CBD), surgida de la cumbre de Río de Janeiro de 1992, recomienda aplicar un enfoque ecosistémico (adoptado en la COP5 y ratificado en la COP7) como marco para el logro de sus objetivos: conservación, uso sostenible y distribución justa y equitativa de los bienes y servicios de la biodiversidad (UNEP/CBD, 2000).

Este enfoque representa una estrategia para el manejo integrado y para la restauración de tierras, aguas y recursos vivos, promoviendo la conservación y el uso sostenible de manera equitativa, participativa y descentralizada. Integra aspectos ecológicos, económicos, sociales y culturales en un área geográfica definida por límites ecológicos, ya que considera al ecosistema (con sus dimensiones natural y social) como la unidad funcional para la gestión ambiental.

A fin de procurar un estado deseado para un ecosistema (como meta de conservación o de restauración), además de intervenciones sobre factores físicos, químicos o biológicos, es necesario modificar conductas humanas, por lo que requiere una buena articulación entre especialistas de las ciencias más duras (exactas, naturales) y de las ciencias sociales, que aún no resulta sencilla. En el proceso de gestión ecosistémica deben participar tres ámbitos claves: el político (responsables de la gestión en los niveles que correspondan), el científico-técnico y el social. Como los sistemas naturales y sociales son complejos, uno de los principios de este enfoque recomienda utilizar el mejor conocimiento disponible.

Se enfatiza el uso sostenible de recursos renovables y conservar tanto los sistemas que sustentan la vida (conformación del clima, conservación de la calidad del aire y del agua, conservación del flujo del agua, reciclado de elementos esenciales, generación y regeneración del suelo) como la biodiversidad, la que suele enunciarse a tres niveles de organización: la variedad de especies, la variedad genética de cada especie y la variedad de sistemas ecológicos.

En una revisión sobre la aplicación del enfoque ecosistémico en Latinoamérica (Andrade Pérez, 2007) se registró que, en general, se sostiene espontáneamente en esfuerzos de gente comprometida (sólo ocasionalmente institucionalizados), dentro de un contexto de proyectos de conservación y uso sostenible de la biodiversidad, convergiendo con otras aproximaciones de manejo, sujeta a diferentes interpretaciones y todavía con poco impacto a nivel global.

La tenencia de la tierra y un alto grado de analfabetismo surgen como limitaciones regionales; por otra parte, los procesos participativos pueden resultar costosos y generar expectativas que superan los plazos de los proyectos.

Las recomendaciones incluyen fortalecer la generación de conocimiento e información, así como conciliar con objetivos de corto plazo que beneficien a pobladores locales. Se enfatiza la conveniencia de adoptar un manejo adaptativo ante el cambio climático en esta extensa región que contiene amplios sistemas aún poco fragmentados.

## **EL CONCEPTO DE BIODIVERSIDAD**

La biodiversidad, propiedad de todos los sistemas vivos de ser distintos, es la resultante de procesos y patrones ecológicos y evolutivos irrepetibles (Jeffries, 1997). Núñez *et al.* (2003), en su revisión sobre las referencias y menciones del concepto de biodiversidad, señalan un incremento exponencial desde fines de los años '80. El concepto, que refería en sus inicios básicamente a la variedad de especies, se fue modificando muy rápidamente para incorporar nuevas perspectivas y avances, nutriéndose de diferentes contextos (científico, política ambiental y público).

El concepto actual de biodiversidad abarca todo el espectro de organización biológica, desde genes hasta comunidades, sus componentes estructurales y funcionales, y las diferentes escalas de espacio y tiempo (Núñez *et al.*, 2003). Esta visión más abarcativa y profunda que las nociones iniciales ofrece un marco de referencia para su comprensión y aplicación en los esfuerzos de conservación que favorece la confluencia del aporte del conocimiento generado por taxónomos, genetistas, ecólogos, biogeógrafos, paleontólogos, bioinformáticos, etc.

Por otro lado, los autores mencionados advierten que la enunciación e interpretación del concepto en estrategias educativas y de comunicación no resulta sencilla, ya que aún no genera imágenes suficientemente claras en los distintos sectores y grupos sociales. Además sus implicancias no se comprenden en toda su magnitud, y todo esto limita la participación social en las políticas públicas respectivas.

## **BIODIVERSIDAD A NIVEL DE ECOSISTEMAS**

En 2006 se realizó en Dinamarca una conferencia internacional (organizada entre otros por DanBif, el nodo danés de GBIF: Global Biodiversity Information Facilities) sobre biodiversidad a nivel de ecosistemas enfocada en debatir aspectos como su definición, relevancia, cuantificación y aplicaciones.

Whittaker (2009), aclara inicialmente en su revisión que la biodiversidad a nivel de ecosistemas es un concepto en construcción, en cuanto a su significación teórica y

práctica, ya que aún no se dispone de una definición consensuada y estandarizada. Los distintos intentos de definirla suelen referir a “número de asociaciones de especies” o bien a “número de hábitats” referidos a escalas espaciales desde paisaje hasta región.

En los últimos 100 años se hicieron intentos para clasificar paisajes o regiones en hábitats más o menos discretos y/o en ensambles de especies, mediante enfoques estructurales o funcionales. Esto permite obtener unidades útiles para mapear, así como para el manejo de ecosistemas, si bien el autor considera que no resulta clara su utilidad para evaluar biodiversidad.

Observa que los ecólogos están típicamente más interesados en: 1) considerar la cantidad de diversidad a nivel de especies o subespecies que puede ser sostenida por estos paisajes y/o 2) en la “salud” funcional, es decir, la integridad de estos ecosistemas, lo que incluye una variedad de enfoques comprendidos bajo la denominación general de gestión ecosistémica.

Para el autor, el simple recuento de tipos de asociaciones no parece suficiente, al no incorporar aspectos relevantes más detallados, como la conectividad funcional. Por lo tanto, más allá de cuantificar el número de ecosistemas o tipos de comunidades, recomienda buscar modos de estimar aspectos funcionales de los ecosistemas, o sea, evaluar tanto la diversidad como la integridad de los ecosistemas.

## **ESTRATEGIAS A GRAN ESCALA**

Así como las especies migratorias o las enfermedades no reconocen fronteras entre países, los ecosistemas pueden no coincidir con dichos límites administrativos. La delimitación de áreas protegidas, o bien la aplicación de prácticas de manejo apropiadas para la protección de funciones y procesos ecológicos de gran escala (considerando cuencas hidrográficas, ciclos biogeoquímicos, etc.) requieren desarrollar estrategias de cooperación entre distintos países. Por otra parte, en un plano técnico objetivo, se requieren sistemas para integrar y sintetizar datos provenientes de distintas fuentes, permitiendo una perspectiva interdisciplinaria y más amplia en tiempo y en espacio a fin de revelar patrones y generalizaciones sobre principios que gobiernan la biósfera (Jones *et al.*, 2006). El enfoque informático representa una alternativa para abordar problemas complejos de gran escala. Los autores plantean que el mayor desafío en ecoinformática (investigación y desarrollo en la interfase entre ecología, computación y tecnología de la información) surge de la complejidad inherente y de la amplitud de los datos generados en estudios ecológicos (que difieren en escalas, metodologías, etc.). La promoción de la aplicación de estándares, así como el registro de metadatos, facilita la integración e interpretación de datos generados por distintas fuentes, permitiendo, por ejemplo, su aprovechamiento en diferentes contextos o la permanencia de su validez para responder nuevas preguntas en el futuro.

## **EL PROYECTO INTERAMERICANO IABIN**

Entre las iniciativas sobre biodiversidad existentes a diferentes escalas, a nivel continental se generó en 1996 el Proyecto “Red Interamericana de Información sobre Biodiversidad” (IABIN, por sus siglas en inglés), por mandato de una Cumbre Hemisférica de Desarrollo Sostenible. Participan 34 gobiernos nacionales, centros académicos y científicos, organizaciones no-gubernamentales e intergubernamentales y sector privado. Su objetivo principal es promover entre los países americanos intercambio, colección y uso de la información sobre la biodiversidad, mediante un portal de Internet, para la toma de decisiones, la investigación y la educación con el fin



de fomentar el desarrollo sostenible y la conservación de la biodiversidad en la región, complementando iniciativas internacionales. Además de generar infraestructura para compartir información, se propone identificar los recursos existentes, procurar llenar vacíos de información relevantes y poner énfasis en proyectos aplicados. IABIN adopta y promueve la adopción de protocolos de transferencia por Internet y estándares tanto para datos como para sus respectivos metadatos.

El Proyecto se organiza en Redes Temáticas (Especies-Especímenes, Ecosistemas, Áreas Protegidas, Especies Invasoras y Polinizadores) a integrarse con un sistema de Catálogo de metadatos y una Red de Información Geo-espacial. Mediante la integración de información se espera proveer herramientas para la toma de decisiones.

## **LA RED TEMÁTICA DE ECOSISTEMAS**

La Red Temática de Ecosistemas inició sus actividades en 2006 bajo la coordinación de un Consorcio, liderado por el Smithsonian Tropical Research Institute (STRI; EEUU/Panamá), conformado además por el Museo Argentino de Ciencias Naturales (MACN), el Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio; Costa Rica), NatureServe, The Nature Conservancy (TNC), Fundação O Boticário (Brasil) y EcoCiencia (Ecuador). Durante 2009 el liderazgo pasó a NatureServe, integrando el resto del consorcio: TNC, STRI, MACN, el Instituto Alexander von Humboldt (Colombia) y el Centro de Información para el Desarrollo Sostenible (CIDES; Panamá).

Su objetivo es implementar una red electrónica e institucional dedicada a la información americana sobre ecosistemas, como sustento para el proceso de toma de decisiones, la investigación y la educación.

Esta red enfrenta grandes desafíos tanto conceptuales como operativos (falta de estándares para clasificaciones de ecosistemas, distintas escalas y resoluciones en la información existente, insuficientes datos georreferenciados de especies y observaciones relacionables, pocas herramientas de análisis e interpretación de datos ecosistémicos para la toma de decisiones).

Para encaminarse hacia la incorporación e integración de información existente en los países sobre sistemas ecológicos a distintas escalas se avanza en dos estrategias complementarias: la elaboración de una clasificación panamericana estandarizada de referencia para ecosistemas terrestres, marinos y acuáticos continentales e insulares (mediante la adaptación de un esquema jerárquico elaborado por GEOSS) y el desarrollo de un sistema de cruzamiento entre distintas clasificaciones. Argentina es uno de los países que está aportando a esta última, mediante la digitalización de información de sistemas terrestres, marinos, y acuáticos, a través de respectivos subproyectos piloto.

Las herramientas para la toma de decisiones permitirán, por ejemplo, evaluar corredores biológicos y conectividad, predecir vulnerabilidad de hábitat a presiones antrópicas, establecer prioridades de protección para áreas naturales, optimizar metas de conservación, etc. Por ejemplo, como uno de los prototipos de aplicación están elaborando un modelo de dengue.

Desde el portal (actualmente en desarrollo) el usuario podrá realizar búsquedas en la base de datos del formato estándar y obtener documentos y mapas por: país o región, clase de ecosistema (con correspondencias entre clases), variables biogeográficas y ecológicas; visualizar e integrar datos de ecosistemas y de otras redes; tener acceso a herramientas y a servicios.

## **CATÁLOGO Y DOCUMENTACIÓN DE BIBLIOGRAFÍA DE ECOSISTEMAS**

El Catálogo permitirá integrar y facilitar la búsqueda de datos e información suministrada por cada Red Temática, integrando metadatos existentes en los países. El motor de búsqueda identificará palabras claves en inglés, español y portugués, mostrándose el contenido en su idioma original.

Desde nuestra institución estamos desarrollando el Subproyecto “Documentación de bibliografía de ecosistemas” a fin de recopilar bibliografía vinculada a la clasificación de sistemas ecológicos a distintas escalas en países o subregiones de América y elaborar sus metadatos de acuerdo a un perfil basado en el estándar Dublin Core a fin de que resulten ampliamente disponibles via Internet en el Catálogo. En la primera etapa se registraron los metadatos (información de la cita bibliográfica, resumen, idioma, cobertura, etc.) de unos 150 trabajos referidos a sistemas terrestres y 100 a marinos y en esta etapa final se registrarán los metadatos de más de 200 trabajos de los distintos tipos de ecosistemas. Como se aspira a que este esfuerzo de recopilación y generación de metadatos represente un aporte significativo para investigación, gestión y educación, se asumió la premisa básica de generar metadatos de buena calidad, para lo que se implementaron mecanismos que minimicen la posibilidad de errores que puedan dificultar las búsquedas del usuario. Al mismo tiempo, se visualiza como una buena oportunidad para brindar mayor visibilidad a valiosos trabajos realizados en América Latina y el Caribe que permanecen con restringida difusión. En consecuencia, más allá de las metas formales, interesa intentar incluir trabajos relevantes de los especialistas locales, así como poder incorporar trabajos de numerosos países americanos. Esto podrá llegar a resultar factible si se logra recibir el aporte, proveniente de referentes de cada país americano, de trabajos en la temática mencionada (Dra. A. Faggi, ecosistemas terrestres: [afaggi@macn.gov.ar](mailto:afaggi@macn.gov.ar); Lic. A. Tablado, ecosistemas marinos: [tablado@macn.gov.ar](mailto:tablado@macn.gov.ar); Dra. A. Puig, ecosistemas acuáticos y coordinadora: [apuig@macn.gov.ar](mailto:apuig@macn.gov.ar)).

## **CONCLUSIONES**

Como señaló Vitousek (1994), somos la primera generación que, de forma consciente, sufre las consecuencias del cambio global, pero somos también la última generación con herramientas para cambiar significativamente buena parte del proceso de degradación. Zamora (2005) reclama que se aplique el conocimiento ecológico acerca del funcionamiento de los sistemas naturales para gestionar, conservar y restaurar los ecosistemas que proporcionan los alimentos, recursos y servicios que sustentan la vida en el planeta. Considera que urge crear canales de comunicación entre científicos, gestores, políticos y la sociedad en general, e incluye entre sus recomendaciones: formar y educar con una visión amplia e integradora, y con un trasfondo de valores humanistas; investigar también en ambientes antropizados; generar ciencia sólida, duradera y orientada a la solución de problemas ambientales; presionar y apoyar a las administraciones públicas para que el estado desarrolle políticas científicas a largo plazo. A fin de enfatizar la investigación y desarrollo alrededor de grandes problemas, más que de disciplinas o sectores, debe impulsarse una modalidad interdisciplinaria e intersectorial, reforzando la investigación cooperativa, involucrando diferentes grupos dentro de los países y también entre países (Gallopín, 1990)

Resulta evidente que hay mucho por hacer en muy poco tiempo para intentar encaminarse, dentro de un escenario de cambio, hacia opciones de desarrollo sostenible,

entendido como aquel que minimiza la degradación o destrucción de su propia base ecológica de producción y habitabilidad. Como expresó el prestigioso limnólogo británico Brian Moss (en Bécares, 2004), es necesario llevar a cabo cambios muy importantes en la ciencia, en las instituciones académicas y en la sociedad si queremos que la hidrósfera y la biósfera retengan los pocos bienes y servicios que aún le quedan. La sociedad tiende más a admirar a los financieramente exitosos que a valorar el trabajo duro y difícil que contribuye al verdadero bienestar de toda la humanidad.

### **AGRADECIMIENTOS**

Al Proyecto IABIN (Banco Mundial / OEA) por su apoyo financiero al Subproyecto 'Documentación de Bibliografía de Ecosistemas', mediante Acuerdo CONICET (MACN) - OEA, y para la participación en Talleres de Expertos en Ecosistemas.

### **BIBLIOGRAFIA**

- ANDRADE PEREZ, A. (ed.), 2007. *Aplicación del Enfoque Ecosistémico en Latinoamérica*. CEM – UICN. Bogotá, Colombia. 87 pp.
- BECARES, E., 2004. Entrevista a Brian Moss, un prestigioso limnólogo comprometido socialmente. *Ecosistemas* 13 (2) [www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=146](http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=146)
- COMIN, F., 2002. Restauración ecológica: teoría versus práctica. *Ecosistemas* 11 (1). [www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=305](http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=305)
- DIAZ, S.; J. FARGIONE; F.S. CHAPIN III y TILMAN, D. 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology* 4 (8): e277. doi:10.1371/journal.pbio.0040277
- GALLOPIN, G. C. 1990. Prioridades ecológicas para el desarrollo sostenible en América Latina: pp. 29-36, En 'Latinoamérica, medio ambiente y desarrollo' Seminario Latinoamericano sobre Medio Ambiente y Desarrollo, San Carlos de Bariloche, Argentina, 15-21 octubre 1990. IEIMA y Fundación Roulet, Colección Encuentros 8. Buenos Aires, 352 pp.
- HARRIS, J.A. y HOBBS, R.J. 2001. Clinical practice for ecosystem health: the role of ecological restoration. *Ecosyst. Health* 7 (4):195-202.
- HOBBS, R. J. y HARRIS, J.A. 2001. Restoration ecology: repairing the Earth's ecosystems in the new millennium. *Restor. Ecol.* 9:239-246.
- JEFFRIES, M, 1997. *Biodiversity and conservation*. Routledge, Londres, 208 pp.
- JONES, M.B.; M.P. SCHILDHAUER; O.J. REICHMAN y BOWERS, S. 2006. The new bioinformatics: integrating ecological data from the gene to the biosphere. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37:519-544.
- JØRGENSEN, S.E., 1999. The state-of-the-art of ecological modelling with emphasis on development of structural dynamics models. *Ecol. Model.* 120:75-96.
- KARR J. R. y DUDLEY, D.R. 1981. Ecological perspective on water quality goals. *Environ. Manage.* 5:55-68.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis. World Resources Institute, Washington, D.C.
- NUÑEZ, I.; E. GONZALEZ-GAUDIANO y BARAHONA, A. 2003. La biodiversidad: historia y contexto de un concepto. *Interciencia* 28 (7):387-393.
- RAPPORT, D.J. y WHITFORD, W.G. 1999. How ecosystems responds to stress. *BioScience* 49:193-203.

- THIESSEN, H.; M. BRKLACICH; G. BREULMANN y MENZES R. (eds.), 2007. *Communicating Global Change Science to Society. An Assessment and Case Studies*. SCOPE 68. Island Press, Washington, DC, 215 pp.
- UNEP/CBD, 2000. The Ecosystem Approach. Decision V/6. Decisions adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. COP 5. Nairobi 15-26 May.
- VARIS, O. 1999. Water resources management: Vicious and virtuous circles. *Ambio* 28 (7):599-603.
- VITOUSEK, P.M., 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology* 75:1861-1876.
- WALKER, B.; C.S. HOLLING; S.R. CARPENTER y KINZING, A. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems: *Ecol. Soc.* 9 (2) [www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5](http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5).
- WHITTAKER, R.J., 2009. What is ecosystem diversity - and how does it relate to other levels of biodiversity?. En: Balslev, H y F Skov (eds.). *Biodiversity at the Ecosystem Level-Patterns & Processes*. Proceedings of the 2nd DanBIF conference, Aarhus, Denmark, 26-27 April 2006. NERI Tech. Report N° 741, 44 pp. [www.dmu.dk/Pub/FR741.pdf](http://www.dmu.dk/Pub/FR741.pdf)
- ZAMORA, R., 2002. La restauración ecológica: una asignatura pendiente. *Ecosistemas* XI (1). [www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=306](http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=306)
- ZAMORA, R., 2005. Aquí y ahora: una llamada al compromiso y la acción. *Ecosistemas*. 2005/2. [www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=106](http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=106)

# Efecto de los cambios globales sobre los sistemas naturales y socioeconómicos.





# CENÁRIOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO PANTANAL EM FUNÇÃO DE TENDÊNCIAS HIDROCLIMÁTICAS

*Sustainable development scenarios in the Pantanal in function of hydroclimatic tendencies*

Ivan Bergier Tavares de Lima y André Steffens Moraes \*

Embrapa Pantanal, Rua 21 de Setembro 1880, Caixa Postal 109  
79320-900 – Corumbá – MS – Brasil.

\* andre@cpap.embrapa.br

## RESUMO

Este estudo busca prospectar cenários de desenvolvimento sustentável no Pantanal a partir de uma análise contextual sob a perspectiva da mudança do clima. Os cenários tangíveis são construídos a partir de um diagnóstico que evidencia causas regionais e globais para as variações interanuais observadas no nível máximo de água no Rio Paraguai, em Ladário, Brasil. As causas regionais podem estar ligadas às mudanças do canal principal do Rio Taquari, induzidas pelo aumento das chuvas e pelo maior aporte de sedimentos provocado pela mudança do uso da terra (erosão) na Bacia do Alto Taquari. As causas globais parecem estar ligadas à elevação da temperatura dos oceanos, devido ao aumento das emissões antrópicas de gases de efeito estufa, que resultou no aumento regional das chuvas a partir de 1974. Em contraposição, os oceanos podem eventualmente esfriar devido a emissões estratosféricas de aerossóis por eventos extremos de erupção vulcânica. Outro fator relevante é o desmatamento da Amazônia, dado que boa parte das chuvas no Pantanal pode ter origem naquela região. Embora no médio prazo a disponibilidade hídrica na planície de inundação do Rio Paraguai deva permanecer ao redor dos níveis atuais, a mudança do clima deve favorecer eventos extremos de precipitação e estações secas mais prolongadas. Secas extremas devem afetar em particular áreas de pouca influência do pulso de inundação do Rio Paraguai, no Pantanal sul-matogrossense. Diante de cenários ambientais e econômicos tangíveis, adaptações e oportunidades para o desenvolvimento sustentável da região podem ser alicerçadas na criação e uso de tecnologias visando manejo adequado de biomassa vegetal terrestre e aquática para manutenção de serviços ambientais essenciais (remoção de carbono da atmosfera e produção de água), e para mitigação da emissão de gases de efeito estufa através da produção de energia (biocarvão, etanol celulósico, bio-óleo, hidrocarbonetos, etc.) e insumos renováveis (madeira, fertilizantes, fibras, etc.).

**Palavras-chave:** mudanças climáticas. hidrologia. desenvolvimento sustentável. Pantanal.

## SUMMARY

This study aims exploring scenarios of sustainable development in the Pantanal from a contextual analysis under the perspective of climate change. The tangible scenarios are built starting from a diagnosis that evidences regional and global causes for the interannual variations observed in the maximum level of water in Rio Paraguai, in Ladário, Brazil. The regional causes may be linked to the changes in the main channel

of the Taquari River, induced by increased rainfalls and by the largest amount of sediments provoked by land use change (erosion) in the High Taquari Basin. The global causes seem to be linked with rising ocean temperatures, due to increased anthropogenic emissions of greenhouse gases, which resulted in increased regional rainfall from 1974. In contrast, the oceans may eventually cool down due to emissions of stratospheric aerosols by extreme events of volcanic eruption. Another relevant factor is the deforestation of the Amazon, as much of the rains in the Pantanal may have origin in that region. Although in the medium-term the availability of water in the floodplain of the Paraguai River should remain around current levels, the climate change should favor extreme events of precipitation and longer drought seasons. Extreme droughts should affect areas of little influence of the flood pulse of the Paraguai River in particular, in the south Pantanal. In the face of environmental and economic tangibles scenarios, adaptations and opportunities for sustainable development in the region may be grounded on the creation and use of technologies for proper management of terrestrial and aquatic plant biomass to maintenance of essential environmental services (carbon removal from the atmosphere and water production), and to mitigate the emission of greenhouse gases through energy production (biochar, cellulosic ethanol, bio-oil, oil, etc.) and renewed inputs (wood, fertilizers, fibers, etc.).

**Key words:** climate change. hydrology. sustainable development. Pantanal.

## INTRODUCCIÓN

### **Emissão antrópica de gases de efeito estufa (GEE) e o aquecimento dos oceanos.**

O Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas da Organização das Nações Unidas (IPCC, 2007) mostra que as atividades humanas, em especial o consumo de combustíveis fósseis e a mudança do uso da terra serão os principais responsáveis por alterações significativas nos padrões globais de circulação atmosférica e oceânica. A mudança do clima deverá repercutir, ainda neste século, na dinâmica e estrutura de ecossistemas e sociedades em todo o mundo. O Pantanal carece de conhecimento a respeito dos possíveis efeitos da mudança climática sobre os ecossistemas regionais e atividades sócio-econômicas vigentes (agropecuária, pesca, turismo, mineração).

Os oceanos recobrem 3/4 da superfície do planeta e são aquecidos pela radiação solar de ondas curtas e pela radiação de ondas longas refletida pela superfície terrestre. As ondas longas, por sua vez, são em parte re-emitidas para a superfície do planeta por gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Estudos mostram que o atual aquecimento do planeta resulta não somente da flutuação dos níveis de irradiância, raios UV (ultravioleta) ou raios cósmicos solares. Esses três fatores explicam somente uma pequena fração da variabilidade da temperatura do planeta (Solanki e Krivova, 2003; Alexeev, 2007), visto que os oceanos tem ganhado calor, apesar da diminuição dos níveis de irradiância solar nas últimas três décadas (Solanki e Krivova, 2003; Alexeev, 2007). O ganho líquido de calor dos mares é atualmente atribuído às emissões antrópicas de GEE (Levitus et al., 2000, 2005; Domingues et al., 2008). A Figura 1 apresenta estimativas da mudança (anomalia) do conteúdo de calor nos oceanos do mundo e no Oceano Atlântico desde 1948. O balanço do conteúdo de calor nos mares tem se mantido em valores positivos particularmente a partir de meados da década de 1970.



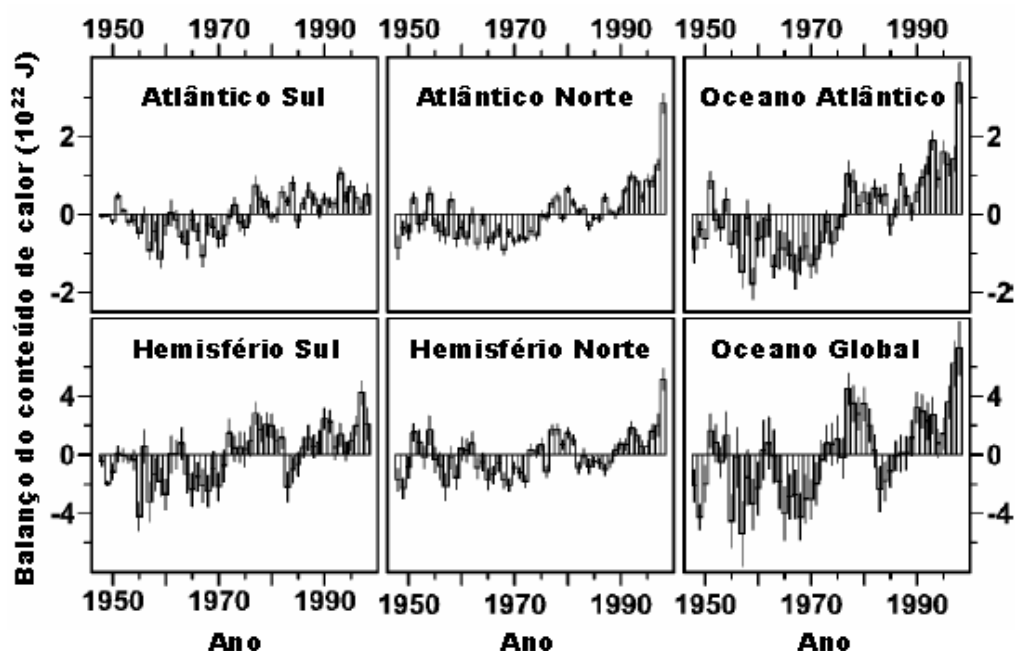


Figura 1. Balanço de calor armazenado no Oceano Atlântico e nos Oceanos do Mundo. Valores positivos indicam armazenamento de energia termal ( $1,5 \times 10^{22}$  J equivale a  $1 \text{ W-anos.m}^{-2}$ ). Fonte: adaptado de Levitus et al. (2000).

#### **Emissão vulcânica de aerossóis e o resfriamento eventual dos oceanos**

A variabilidade da Temperatura Superficial do Mar (TSM) tem sido bem reproduzida por modelos que incluem, além das variabilidades climáticas internas (circulações oceânicas e atmosféricas induzidas pela energia solar), forçantes externas como a emissão de GEE e emissões de aerossóis por eventos extremos de erupções vulcânicas (Cazenave, 2005; Church et al., 2005; Santer et al., 2006; Domingues et al., 2008). Santer et al. (2006) verificaram que as forçantes externas explicam grande parte da variabilidade da TSM durante o século 20. A liberação de aerossóis na estratosfera por grandes eventos de erupção vulcânica bloqueia parte da radiação solar, refletindo-a de volta ao espaço. Esse processo eventual diminui a entrada de energia solar e tem como efeito uma redução temporária na temperatura dos oceanos. Na Figura 2 apresenta-se a relação entre eventos extremos de aerossóis (Profundidade Óptica de Aerossóis na Estratosfera ou POAE) e oscilações da TSM nos oceanos Atlântico e Pacífico. Similarmente à Figura 1, nota-se uma tendência de aumento da TSM, atribuída à intensificação das emissões de GEE. Parte das oscilações em torno dessa tendência pode estar relacionada a emissões vulcânicas extremas de aerossóis (Figura 2).

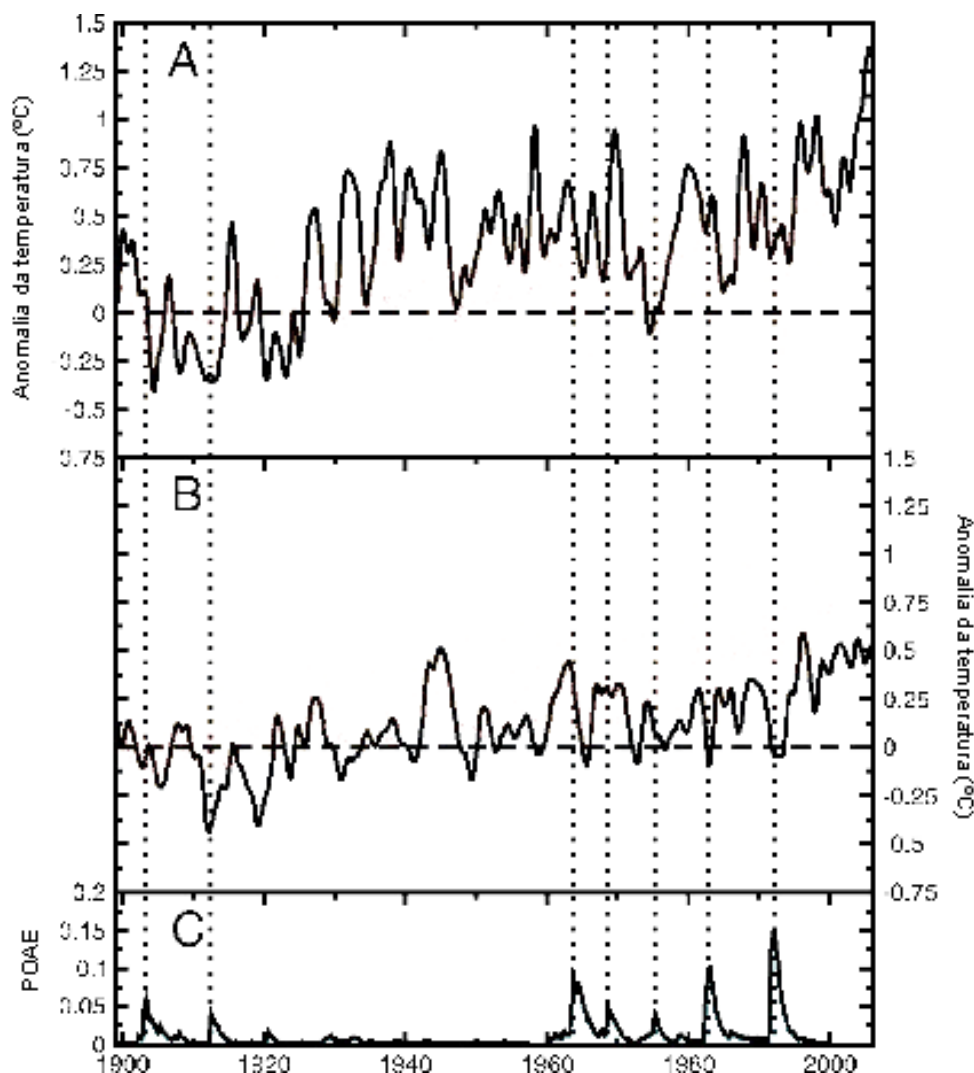


Figura 2. Relação entre as anomalias da temperatura superficial do mar (TSM) nos oceanos Atlântico (A) e Pacífico (B) com atividades vulcânicas (C) medidas através da Profundidade Óptica de Aerossóis na Estratosfera (POAE). Fonte: adaptado de Santer et al. (2006).

### Relação entre mudança do uso da terra, oceanos e o nível do Rio Paraguai em Ladário

A série histórica do Rio Paraguai em Ladário (MS) vem sendo construída pela Marinha Brasileira desde 1900. Representa hoje o melhor e mais completo registro histórico das flutuações hidrológicas no Pantanal (Galdino e Clarke, 1995, 1997). A oscilação interanual do nível do Rio Paraguai é uma resposta integrada da quantidade de água precipitada na Bacia do Alto Paraguai (Bolívia e Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), da quantidade de água evapotranspirada e da quantidade de água drenada para aquíferos subterrâneos. Portanto, mudanças no regime de chuva e mudanças estruturais na Bacia do Alto Paraguai serão necessariamente refletidas nas oscilações interanuais registradas na série temporal. Entre as mudanças estruturais pode se destacar a mudança do uso da terra na parte alta da Bacia do Rio Taquari (Galdino et al., 2005; Padovani et al., 2005). O crescente aporte de sedimentos (Godoy et al., 2005) levou ao assoreamento do leito do Rio Taquari dentro do Pantanal, com o consequente

rompimento do seu dique aluvial na região do Caronal (Assine, 2005). Assim, boa parte do volume de água do rio tem sido espalhada em vasta área da região do Paiaguás (margem direita), a montante de Ladário (Figura 3). Esse processo pode eventualmente contribuir para a manutenção de níveis máximos elevados no Rio Paraguai em Ladário, uma vez que, até a década de 1980, quase toda água do Rio Taquari era direcionada para a região a jusante de Ladário. Atualmente, um volume de água desconhecido do Rio Taquari está sendo direcionado para o Rio Paraguai à montante de Corumbá, muito possivelmente contribuindo com as mudanças nos padrões hidrológicos medidos pela régua de nível em Ladário. Até 1979 os menores valores observados de nível máximo do rio, isto é, anos mais secos, variavam entre 1,1 e 2,7 metros, enquanto que de 1980 em diante vem variando entre 3,2 e 4,3 metros.

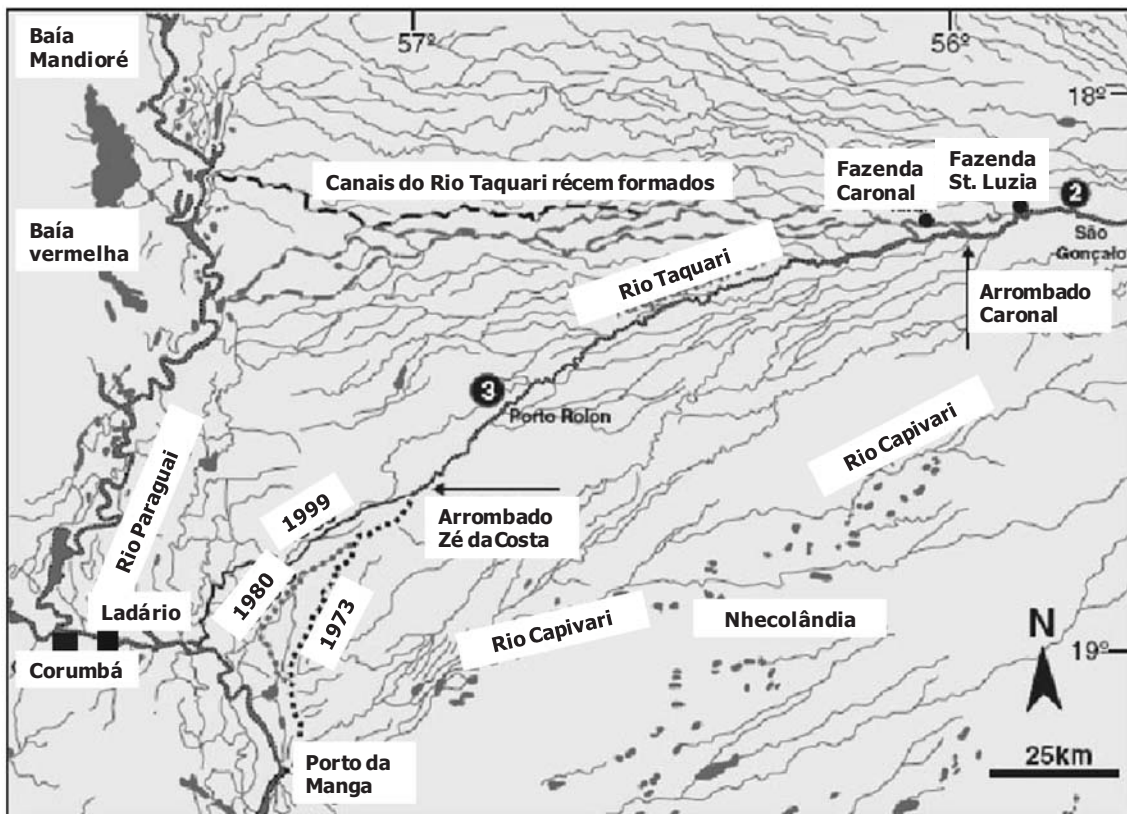


Figura 3. Mudanças do canal principal na planície aluvial do Rio Taquari desde 1973 por causa do aumento da erosão no Planalto (intensificação do uso inadequado da terra) e das chuvas após o longo período seco (1964-1973). Fonte: adaptado de Assine (2005).

A Figura 4 apresenta as variações interanuais do nível máximo do Rio Paraguai em Ladário. Nota-se dois grandes períodos, um de grandes oscilações cheia/seca (1900-1973) e outro de pequenas oscilações (1974-2008). Percebe-se, ainda, um período contínuo de 10 anos de seca (1964-1973). A medida do grau de oscilação pelo coeficiente de variação ( $CV \% = \text{desvio padrão} \times \text{média}^{-1} \times 100$ ) mostra que entre 1974 e 2008 as oscilações caíram mais que a metade em relação a 1900-1973 (Figura 4). Além das mudanças estruturais do Taquari, a elevação do nível de água em Ladário após 1973 pode ter relação também com o aumento das chuvas na região (Galdino *et al.*, 1997; Soriano *et al.*, 2001; Galdino *et al.*, 2002; Galdino *et al.*, 2005). As chuvas continentais na América do Sul derivam do transporte troposférico (*tropos* =

movimento) de vapor d'água originado no Oceano Atlântico e do processo de evapotranspiração continental, particularmente da Floresta Tropical Amazônica (Salati, 1987; Grootes et al., 1989; Victoria et al., 1991; Vera et al. 2006).

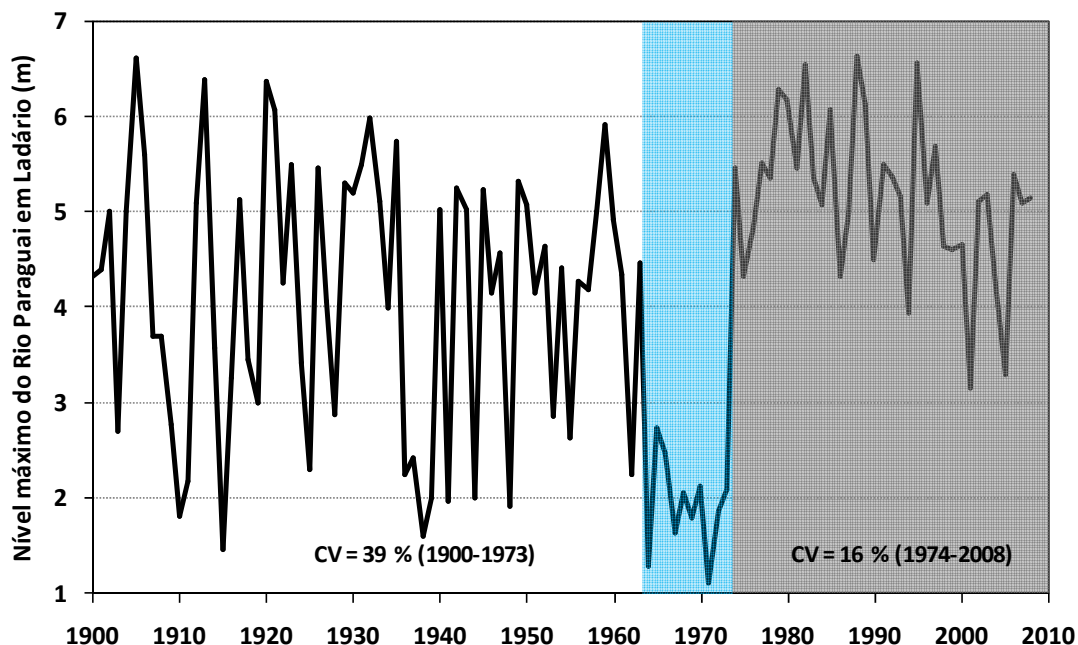


Figura 4. Variação interanual do nível máximo do Rio Paraguai em Ladário (MS) entre 1900 e 2008. Em branco (1900-1973) e em cinza (1974-2008) são apresentados dois períodos distintos com seus respectivos coeficientes de variação (CV). Em azul claro destaca-se o prolongado período seco entre 1964 e 1973.

Por outro lado, é provável que a variabilidade do máximo anual do nível do Rio Paraguai seja modulada, em grande parte, pela variação da temperatura oceânica global, que por sua vez é modulada pela energia do sol e pelo balanço entre GEE antrópicos e aerossóis originados de eventos extremos de erupção vulcânica (Levitus et al., 2000, 2005; Church et al., 2005; Santer et al., 2006; Domingues et al., 2008). Entretanto, os mecanismos geofísicos que explicam a relação entre o nível máximo do Rio Paraguai e a temperatura oceânica global não são muito evidentes. De todo modo, a maior parte da chuva no Pantanal origina-se da evaporação do Oceano Atlântico Equatorial e da evapotranspiração da Floresta Tropical Amazônica. Um mecanismo plausível seria, portanto, o aumento do transporte de umidade dessas regiões para o centro-sul do continente sul-americano. Tal transporte, condicionado em parte pela barreira dos Andes (chuva de monções da América do Sul), tem se intensificado em função das mudanças na interação oceano-atmosfera (Marengo et al., 2004) e tem resultado no aumento da precipitação e da vazão de rios no centro-sul do continente sul-americano desde meados da década de 1970 (Dai et al., 2002; Liebmann et al., 2004; Vera et al., 2006). Simulações calibradas para o século 20 indicam que na Bacia do Rio Paraguai pode haver aumento de 5 a 10 % na vazão de rios entre 2041-2060 (Milly et al., 2005).

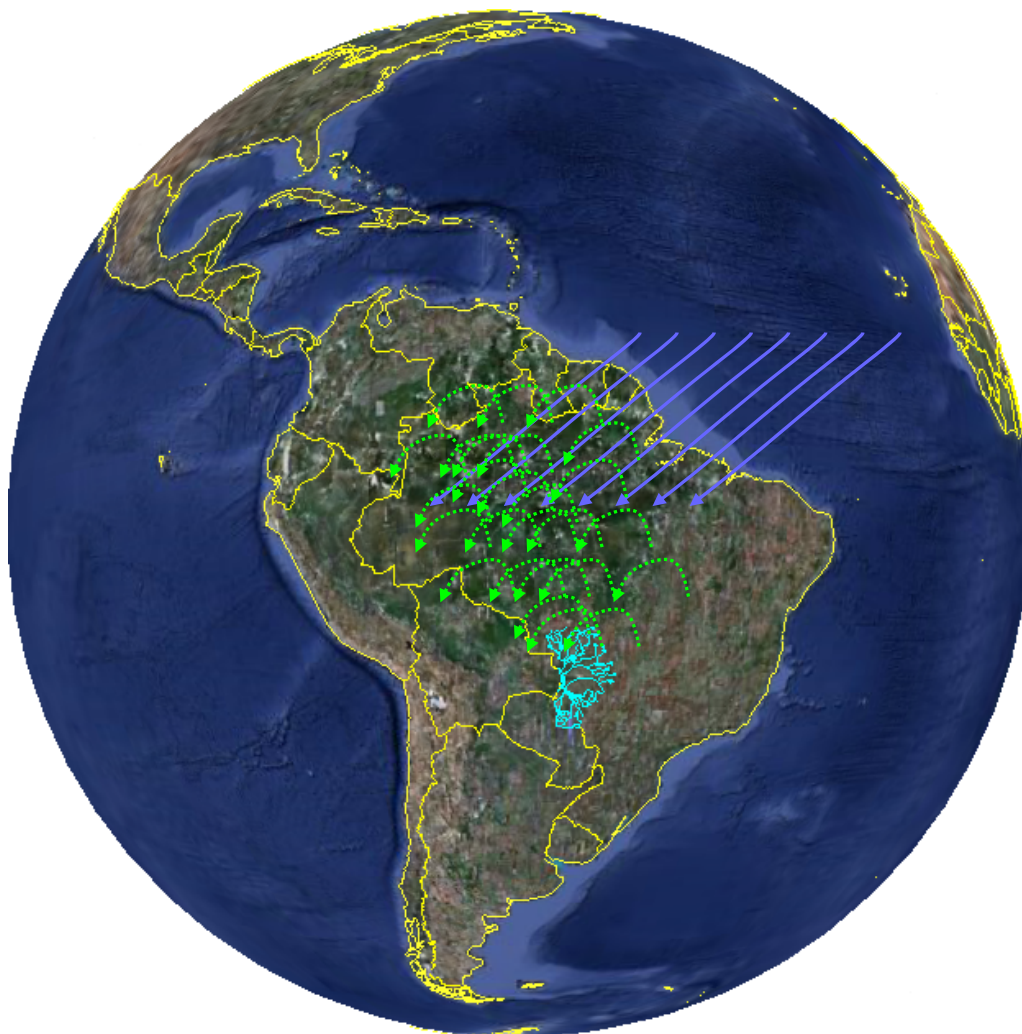


Figura 5. Representação esquemática dos fluxos (alísios) de umidade do Oceano Atlântico Equatorial (setas em azul escuro), da recirculação (evapotranspiração/chuva) de umidade na Floresta Tropical Amazônica e do transporte latitudinal em direção ao sul do continente latino-americano (ciclos tracejados em verde). A rede hidrográfica do complexo do Pantanal na Bacia do Alto Paraguai é representada em azul claro. Fonte: imagem adaptada do *Google Earth*, baseado em Grootes et al. (1989).

A seca de 1964 a 1973 pode também ter relação com a erupção extrema do vulcão Agung na Indonésia (Bali), em fevereiro de 1963. Tal hipótese pode ser verificada traçando-se um paralelo entre as anomalias térmicas do oceano global e a TSM com a anomalia do nível do Rio Paraguai e eventos vulcânicos extremos (Figura 6). As anomalias de 1950 a 2003 foram filtradas por uma média móvel de 3 anos e são referenciadas a 1961. A concordância entre a anomalia térmica do oceano global e a anomalia do nível máximo do Rio Paraguai é evidente em todo o período analisado, inclusive no período de seca. Após as erupções dos vulcões Chichon (México) e Pinatubo (Filipinas), a anomalia do nível do Rio Paraguai descolou-se da anomalia térmica do oceano, mas manteve padrões oscilatórios compatíveis. A partir do ano 2000, há uma tendência de aumento tanto da temperatura (calor) dos oceanos, como do nível máximo do Rio Paraguai em Ladário (Figura 6).

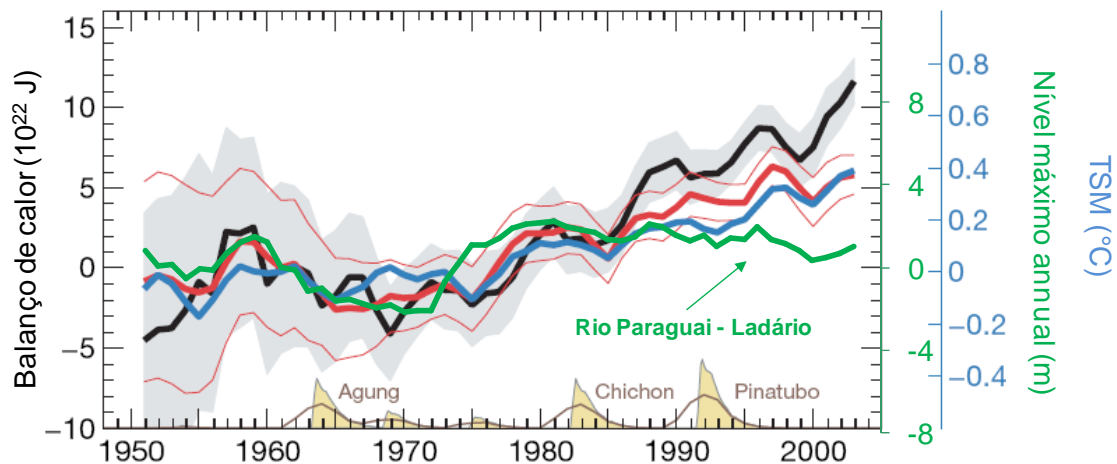


Figura 6. Anomalias da quantidade média de calor nos oceanos nas profundidades de 700 (linha preta,  $\pm$  desvio padrão em cinza) e 100 (linha vermelha,  $\pm$  desvio padrão em linhas vermelhas finas) metros, comparadas às anomalias da temperatura superficial do mar (em azul) e do nível máximo do Rio Paraguai em Ladário (em verde). Todas as séries compreendem o período 1951-2003 (média móvel de três anos) relativo a 1961. As curvas preenchidas em amarelo denotam a Profundidade Óptica de Aerossóis na Estratosfera (POAE) em unidade arbitrária. Fonte: adaptado de Domingues et al. (2008).

Nota-se alguma correspondência entre as emissões de aerossóis na estratosfera (POAE) com períodos de diminuição termal dos mares e de redução do nível máximo do Rio Paraguai. O efeito de emissões extremas de aerossóis foi particularmente evidente nas décadas de 1960 e 1970, quando a quantidade de GEE na atmosfera era bem inferior aos níveis atuais. A quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera é atualmente bem mais elevada, e pode atenuar a influência de eventos extremos vulcânicos sobre a temperatura do mar e, conseqüentemente, sobre o nível máximo do Rio Paraguai. Os efeitos destes (e outros) fatores de dinâmica climática precisam ser elucidados, especialmente no que tange à biota e à sócio-economia do Pantanal.

### Cenários hidroclimáticos e desenvolvimento sustentável no Pantanal

Pela complexidade do clima planetário, é improvável o desenvolvimento de um modelo seguramente capaz de prever o estado futuro de médio prazo do Pantanal face à mudança do clima. Entretanto, existem forçantes de larga escala (baixa frequência) que guiam o estado climático futuro para cenários plausíveis e tangíveis. No presente estudo consideram-se como principais forçantes os GEE antrópicos, os aerossóis vulcânicos e as mudanças no uso da terra. Nesse sentido, é factível o contínuo aquecimento do planeta, tendo em vista as mínimas ações desempenhadas por nações em todo o mundo para a redução efetiva das emissões ou para a remoção de GEE da atmosfera. Considerem-se, ainda, os efeitos de longo prazo dos GEE já presentes na atmosfera. Portanto, se estiverem corretas as premissas de que i) oceanos mais quentes (ou frios) refletem em níveis máximos elevados (ou reduzidos) no Rio Paraguai, e que ii) emissões estratosféricas de aerossóis vulcânicos reduzem a temperatura dos oceanos, é muito provável que os níveis máximos de água em Ladário se situem em média entre 4 e 6 metros no médio prazo. Níveis máximos abaixo de 4 metros podem eventualmente

ocorrer na medida em que emissões massivas de aerossóis vulcânicos (ou outros fenômenos) superem o efeito de aquecimento promovido pelos GEE presentes na atmosfera, resfriando os oceanos e diminuindo o transporte de umidade do norte do continente sul-americano para a região da Bacia do Alto Paraguai. Essa prospecção de cenários tangíveis é representada por um modelo simplificado na Figura 7.

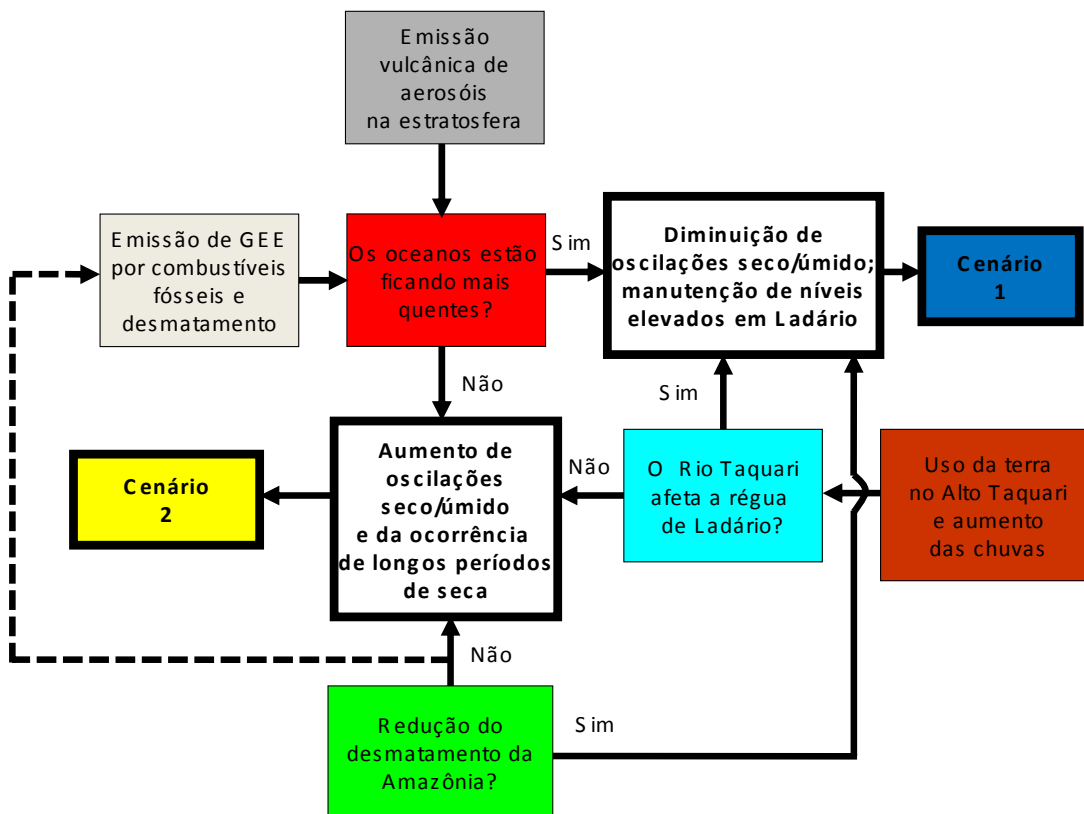


Figura 7. Prospecção de cenários tangíveis com relação ao nível máximo do Rio Paraguai em função de forçantes globais e regionais.

A tendência atual é direcionada ao cenário 1 (em azul na Figura 7), considerando-se, também, os efeitos da mudança na posição de descarga de água do Rio Taquari. O Rio Taquari desemboca regularmente no Rio Paraguai, a jusante de Ladário, mas os arrombados podem mudar definitivamente o curso da calha principal para mais ao norte, na altura das baías Mandioré e Vermelha, a montante da régua de Ladário (Assine, 2005). Portanto, ambos os cenários, global e regional, convergem para o cenário 1 no médio prazo. Se considerarmos um cenário “*business as usual*” (Nepstad et al., 2002), sem controle das taxas de desmatamento (e savanização) da Floresta Tropical Amazônia, é possível que o Pantanal seja pouco a pouco direcionado ao cenário 2 pela perda de fonte importante de umidade, apesar do aporte de GEE na atmosfera (linha tracejada na Figura 7).

Do ponto de vista sócio-econômico, o Pantanal tem passado por transformações e adaptações em função da variabilidade interanual e interdécadas do pulso de inundação. Em épocas mais secas, como entre 1964 e 1973, houve o predomínio da atividade pecuária e em períodos mais úmidos foram também verificadas atividades como a pesca e o turismo (Resende e Galdino, 2001). Na região de Corumbá há ainda a criação e

perspectiva de expansão do pólo Mínero-Siderúrgico, que demandará grandes quantidades de carvão (mineral e vegetal) na produção de ferro gusa e aço.

O Brasil, recuperado da instabilidade econômica inflacionária, passa por uma fase de crescimento econômico, embora ainda haja grandes incertezas e desafios em diferentes esferas que assegurem a sustentabilidade em médio e longo prazo. Dentre as ameaças na esfera econômica pode-se destacar a atual crise dos mercados internacionais. As questões relacionadas à conservação ambiental e uso racional dos recursos naturais ganham extrema relevância em função da mudança do clima. Portanto, é possível traçar um cenário de oportunidades para o desenvolvimento sócio-econômico no Brasil e no Pantanal (Figura 7), tendo em vista o crescimento de economias emergentes, a tendência de auto-regulação (homeostase) da economia mundial através da crescente interdependência econômica dos países e o aumento da demanda por produtos com “valor sócio-ambiental” e energias “verdes”, que promovam a homeostase dos ecossistemas e a manutenção dos serviços ambientais. Atividades econômicas evidentes nesse cenário são: 1) o turismo em suas diversas modalidades (contemplativo, de aventura, entre outros), 2) a pesca esportiva e artesanal, 3) a produção consorciada de carne e pescado na planície inundável, e 3) o aproveitamento racional da biodiversidade em seus mais variados produtos, muitos ainda não revelados, como, por exemplo, fármacos e essências nativas. Outras atividades econômicas promissoras, emergentes da mudança do clima e das crises do petróleo e dos alimentos, são a manutenção da produção de água (crise iminente) e a produção de energia, materiais e fertilizantes derivados de biomassa.

Nos corpos de água da planície de inundação a produção fotossintética é elevada em função da disponibilidade solar e hídrica. Contudo, devido ao pulso de inundação, apenas espécies vegetais adaptadas conseguem colonizar esses ambientes. Tais plantas aquáticas, cujas espécies de maior relevância e de grande potencial de uso sustentável pertencem ao gênero *Eichhornia spp* (camalotes), caracterizam-se pelo rápido ciclo de vida anual, isto é, pela velocidade com que se reproduzem. A produtividade varia de espécie para espécie e em função do ciclo hidrológico (Paula, 1986), mas, em média, pode-se assumir um valor conservativo de 20 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. A produção anual dessas plantas, em particular dos camalotes, é tão intensa, que parte significativa da biomassa é carregada pelo Rio Paraguai. Há pouco conhecimento sobre a dinâmica de escoamento e a ciclagem dessas plantas. Uma avaliação preliminar no Rio Paraguai em Corumbá indicou uma exportação de biomassa (seca) de aproximadamente 1,7 milhões de toneladas no ano de 1992 (Ramires, 1993), quando o nível máximo do Rio Paraguai em Ladário atingiu 5,38 m. Essa quantidade representaria cerca de 35% do total de biomassa seca produzida por plantas aquáticas flutuantes, se assumirmos uma área de produção de 240 mil hectares ou 30% da área total do Pantanal do Paraguai em território brasileiro. Tal estimativa pode ser conservativa se considerados ainda os aportes de biomassa vegetal aquática das bacias dos rios Miranda, Aquidauana, Negro, Abobral e Nabileque. No entanto, é importante salientar que estes números são preliminares e há deficiência de conhecimento sobre as funções e impactos ecológicos dessa biomassa exportada nos ecossistemas a jusante. A biomassa vegetal aquática exportada apresenta diversos potenciais econômicos de médio prazo, como a produção de fibras, energia (bio-óleo, biocarvão, etanol celulósico, gás de síntese, hidrocarbonetos renováveis) e fertilizantes orgânicos. Um exemplo bastante atual é a produção de bio-óleo e biocarvão por pirólise. O bio-óleo pode ser convertido (gaseificação) a gás de síntese (CO + H<sub>2</sub>), o qual pode ser convertido em



hidrocarbonetos diversos, entre eles o óleo diesel. O biocarvão (finos de carvão) pode ser utilizado de diversas maneiras, desde a substituição de carvão (vegetal e mineral) na siderurgia à produção de fertilizantes mais eficientes e sequestro de carbono (Lehmann, 2007).

O uso da terra no planalto da Bacia do Alto Paraguai também interfere profundamente no funcionamento ecológico da planície pantaneira (Abdon et al., 2005). Os impactos mais evidentes da supressão da vegetação nativa e substituição por culturas agrícolas, especialmente pastagens com baixo nível de manejo, são relacionados à ruptura do equilíbrio dinâmico dos solos, à instalação de processos erosivos e o conseqüente assoreamento de cursos de água que abastecem boa parte do Pantanal. Por este motivo, sistemas de cultivo e manejo que aumentem a resiliência dos sistemas agrícolas devem ser adaptados às condições regionais e monitorados a fim de avaliar a sua eficiência conservativa. Neste sentido, a produção de biomassa vegetal terrestre de espécies nativas que investem energia no acúmulo de biomassa e na produção de frutos, apresenta-se como potencial de uso sustentável para diversos fins, entre eles a manutenção de serviços ambientais (absorção de carbono atmosférico, produção de água, controle de erosão, manutenção da biodiversidade, etc.). Em termos econômicos, a necessidade de reabilitação de áreas agrícolas em diferentes graus de perturbação vem ao encontro da crescente demanda do mercado nacional e internacional por produtos do setor florestal, tais como madeira para uso na construção civil, indústria moveleira, para produção de energia, fibras, frutos, extração de gomas, óleos, essências e demais subprodutos da silvicultura (Balzon et al., 2004). Considerando que o valor econômico dos bens e serviços ambientais oferecidos à sociedade pelo bioma Pantanal é de pelo menos US\$ 8.130 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (dólares de 2007) (Moraes, 2008), a manutenção desses serviços, através da recuperação de áreas agrícolas, do uso eficiente da água e da biomassa vegetal, entre outros, se reveste de grande significado.

Atividades econômicas vinculadas ao extrativismo e/ou produção de plantas aquáticas e terrestres podem, desta forma, possibilitar benefícios sócio-ambientais tais como a diversificação da renda, a redução da pressão sobre matas nativas e a manutenção dos serviços ambientais (sequestro de carbono, redução da emissão de GEE, etc.).

## **CONCLUSIONES**

A Hidrologia no Pantanal parece relacionar-se à temperatura dos oceanos, que por sua vez aquecem ou esfriam em função do balanço radiativo promovido pelas quantidades de GEE e aerossóis vulcânicos presentes na atmosfera. A seca prolongada (menos chuva) entre 1964 e 1973 pode ter sido disparada pela liberação de grandes quantidades de aerossóis do vulcão Agung em 1963 nas Filipinas. Por outro lado, o aumento das chuvas a partir de meados da década de 70, possivelmente em função da emissão antrópica de GEE, e a coincidente intensificação do uso do solo no planalto, vem atuando sinergicamente na mudança dos padrões de escoamento superficial no leque aluvial do Rio Taquari e no Rio Paraguai. Até 1979, os níveis máximos do Rio Paraguai em Ladário em anos mais secos variaram entre 1,1 e 2,7 metros, enquanto que desde a década de 80 vem variando entre 3,2 e 4,3 metros. Em linhas gerais, a tendência verificada no médio prazo aponta para a manutenção de níveis máximos atuais no Rio Paraguai em Ladário, isto é, níveis máximos anuais superiores a 3 metros, considerando-se que o desmatamento da Floresta Tropical Amazônia seja controlado. Nessa perspectiva, e diante dos cenários nacional e internacional de médio prazo, o Pantanal apresenta oportunidades tais quais o uso racional de biomassa vegetal aquática

e terrestre para diversas finalidades. A priori, é necessário conhecer a capacidade de suporte ambiental e a dependência de demais organismos sobre tal biomassa, para que seja utilizado somente o “excedente ecossistêmico” visando sempre produtos competitivos (menor uso de insumos fósseis e maior responsabilidade sócio-ambiental) a fim de criar mecanismos de desenvolvimento sustentável dos países que partilham o Pantanal.

## BIBLIOGRAFIA

- ABDON, M.M.; SOUZA M.P. y SILVA J.S.V. 2005. Identificação de impactos ambientais no meio físico subsidiada por banco de dados georreferenciados. *Anais. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia*, 16-21 abril, INPE, p. 2793-2798.
- ALEXEEV, V.A. 2007. Some features of climate change on Earth and its possible relation to solar-activity variations. *J. Solar System Res.*, 41:527-534.
- ASSINE, M.L. 2005. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal Wetland, Brazil. *Geomorphology*, 70: 357-378.
- BALZON, D.R.; SILVA, J.C.G.L. y SANTOS, A.J. 2004. Aspectos mercadológicos de produtos florestais não madeireiros - Análise retrospectiva. *Floresta*, 34: 363-371.
- CAZENAVE, A. 2005. Global change: sea level and volcanoes. *Nature*, 438: 35-36.
- CHURCH, J.A.; WHITE, N.J. y ARBLASTER, J.M. 2005. Significant decadal-scale impact of volcanic eruptions on sea level and ocean heat content. *Nature*, 438: 74-77.
- DAI, A.; TRENBERTH, K.E. y QIAN, T. 2002. A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorology*, 5: 1117-1130.
- DOMINGUES, C.M.; CHURCH, J.A.; WHITE, N.J.; GLECKLER, P.J.; WIJFFELS, S.E.; BARKER, P.M. y DUNN, J.R. 2008. Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature*, 453: 1090-1093.
- GALDINO, S. y CLARKE, R.T. 1995. Levantamento e estatística descritiva dos níveis hidrométricos do Rio Paraguai em Ladário, MS - Pantanal - Período 1900/1994. Corumbá: Embrapa-CPAP, 71 pp. (Embrapa-CPAP. Documentos, 14).
- GALDINO, S. y CLARKE, R.T. 1997. Probabilidade de ocorrência de cheia no rio Paraguai, em Ladário, MS - Pantanal. Corumbá: Embrapa-CPAP, 58 pp. (Embrapa-CPAP. Circular Técnica, 23).
- GALDINO, S.; CLARKE, R.T.; PADOVANI, C.R.; SORIANO, B.M.A. y VIEIRA, L.M. 1997. Evolução do regime hidrológico na planície do baixo curso do Rio Taquari - Pantanal. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 7. Vitória. *Anais. Vitória: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*: 383-390.
- GALDINO, S.; PADOVANI, C.R.; SORIANO B.M.A. y VIEIRA L.M. 2002. Mudanças do regime hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Taquari – Pantanal. Corumbá: Embrapa-CPAP, 24pp. (Embrapa-CPAP. Boletim de Pesquisa, 26).
- GALDINO, S.; PADOVANI, C.R.; SORIANO, B.M.A y VIEIRA, L.M. 2005. Alterações no regime hidrológico da planície do Baixo Taquari. In: S GALDINO; LM VIERA; LA PELLEGRIN (Org.). Impactos ambientais e socioeconômicos nas Bacia do Rio Taquari - Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal: 175-181.

- GODOY, J.M.; PADOVANI, C.R.; VIEIRA, L.M. y GALDINO, S. 2005. Geocronologia do assoreamento e níveis de mercúrio em lagos marginais do Rio Taquari no Pantanal. In: S GALDINO; LM VIEIRA; LA PELLEGRIN (Org.). Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari - Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal: 163-173.
- GROOTES P.M.; STUIVER, M.; THOMPSON, L.G. y MOSLEY-THOMPSON, E. 1989. Oxygen isotope changes in tropical ice, Quelccaya, Peru. *J. Geophys. Res.*, 94: 1187-1194.
- IPCC. 2007. Summary for Policymakers. In: S SOLOMON; D QIN; M MANNING; Z CHEN; M MARQUIS; KB AVERYT; M TIGNOR; HL MILLER (eds.). Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- LEHMANN, J. 2007. A handful of carbon. *Nature*, 447: 143-144.
- LEVITUS, S.; ANTONOV, J.I.; BOYER, T.P. y STEPHENS, C. 2000. Warming of the world ocean. *Science*, 287: 2225-2229.
- LEVITUS, S.; ANTONOV, J.I. y BOYER, T. 2005. Warming of the world ocean, 1955–2003. *Geophys. Res. Letters*, 32: 2604, doi:1029:2004GL021791
- LIEBMANN, B.; VERA, C.S.; CARVALHO, L.M.V.; CAMILLONI, I.A.; HOERLING, M.P.; ALLURED, D.; BARROS, V.R.; BAEZ, J. y BIDEGAIN, M. 2004. An observed trend in central South American precipitation. *J. Clim.*, 17: 4357-4367.
- NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; ALENCAR, A.; BARROS, A.C.; CARVALHO, G.; SANTILLI, M. y VERA-DIAZ, M.C. 2002. Frontier governance in Amazonia. *Science*, 295: 629-631.
- MARENGO, J.A.; LIEBMANN, B.; VERA, C.; NOGUÉS-PAEGLE, J. y BAEZ, J. 2004. Low frequency variability of the SALLJ. *CLIVAR Exchanges*, 9: 26-27.
- MILLY, P.C.D.; DUNNE, K.A. y VECCHIA, A.V.. 2005. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438: 347-350.
- MORAES, A.S. 2008. Pecuária e conservação do Pantanal: análise econômica de alternativas sustentáveis – o dilema entre benefícios privados e sociais. 2008. 265 p. Tese (Doutorado em Economia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- PADOVANI, C.R.; GALDINO, S. y VIEIRA, L.M.. 2005. Dinâmica hidrológica e de sedimentação do Rio Taquari no Pantanal. In: S GALDINO; LM VIEIRA; LA PELLEGRIN (Org.). Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari - Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal: 153-162.
- PAULA, J.E. 1986. Sugestões para o equilíbrio entre a exploração de recursos renováveis do Pantanal e preservação dos respectivos ecossistemas. *Ciência e Cultura*, 38: 817-828.
- RAMIRES, J.R.S. 1993. Transporte de bancos de macrófitas flutuantes em função do nível hidrométrico no rio Paraguai, Pantanal-MS. 31pp Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Corumbá.
- RESENDE, E.K. y GALDINO, S. 2001. O Pantanal está secando? Corumbá: Embrapa-CPAP: 2pp. (Artigo de Divulgação na Mídia, 06).

- SALATI, E. 1987. The forest and the hydrological cycle. In: RE Dickinson (ed.). The Geophisiology of Amazonia: vegetation and climate interactions. New York, John Wiley & Sons, 1987. 526pp.
- SANTER, B.D.; WIGLEY, T.M.L; GLECKLER, P.J.; BONFILS, C.; WEHNER, M.F.; ACHUTARAO, K.; BARNETT, T.P.; BOYLE, J.S.; BRÜGGEMANN, W.; FIORINO, M.; GILLET, N.; HANSEN, J.E.; JONES, P.D.; KLEIN, S.A.; MEEHL, G.A.; RAPER, S.C.B.; REYNOLDS, R.W.; TAYLOR, K.E.; WASHINGTON, W.M. 2006. Forced and unforced ocean temperature changes in Atlantic and Pacific tropical cyclogenesis regions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 103:13905-13910.
- SOLANKI, S.K. y KRIVOVA, N.A. 20.3. Can solar variability explain global warming since 1970? *J. Geophys. Res.*, 108:1- 1200.
- SORIANO, B.M.A; CLARKE, R.T. y GALDINO, S. 2001. Evolução da erosividade das chuvas na bacia do alto Taquari. Corumbá: Embrapa Pantanal, 18pp. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa, 25).
- VERA, C.; HIGGINS W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C.; NOGUES-PAEGLE, J.; SILVA DIAS, P.L. y ZHANG, C. 2006. Toward a unified view of the American Monsoon Systems. *J. Clim.*,19:4977-5000.
- VICTORIA, R.L.; MARTINELLI, L.A.; MORTATTI, J. y RICHEY, J. 1991. Mechanisms of water recycling in the Amazon basin: isotopic insights. *Ambio*, 20: 384-387.

# CAMPOS DIARIOS DE ALTURA GEOPOTENCIAL DE 500 hPa EN LOS MODELOS DE CIRCULACIÓN GLOBAL

## *Daily fields of 500 hPa geopotential height in the Global Circulation Models*

Maria Laura Bettolli\*<sup>1,2</sup> y Olga Clorinda Penalba <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Extremos Climáticos, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. FCEN. UBA, Argentina

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET, Argentina. Ciudad Universitaria, Pabellón II, Piso 2  
bettolli@at.fcen.uba.ar

### RESUMEN

En los estudios de cambio climático, los modelos de circulación global (MCGs) juegan un rol fundamental dado que proporcionan una representación del sistema climático, describiendo los principales procesos dinámicos y físicos, sus interacciones y retroalimentaciones. Los MCGs muestran una alta capacidad para simular características de la climatología de la circulación en la región de Sudamérica en escalas de tiempo que van desde la mensual a la decadal. Sin embargo, su capacidad para representar patrones de tiempo en términos de la climatología sinóptica ha sido poco explorada aún. En este contexto, el objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad de los modelos de circulación global en reproducir la circulación diaria en el sur de Sudamérica representada, en este caso, por los campos de altura geopotencial de 500 hPa. Se utilizan campos diarios de dicha variable de los Reanálisis 2 NCEP provenientes del NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center como representativos de la circulación observada. Conjuntamente se utilizan campos diarios de la misma variable de las salidas de los MCGs para el siglo XX (escenario 20C3M), generadas para el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC-AR4, por sus siglas en inglés).

La comparación se realiza en base a los patrones obtenidos del análisis de componentes principales. Las características más importantes de los patrones espaciales son reproducidas por los MCGs, con varianzas explicadas de similar magnitud a las observadas. La representatividad de los mismos depende del modelo analizado. Los modelos tienden a representar una menor presencia del campo medio dando lugar a una mayor presencia de perturbaciones, especialmente durante el invierno.

**Palabras clave:** altura geopotencial, modelos de circulación global, sur de Sudamérica.

### SUMMARY

Global atmospheric models (GCMs) play a key role in climate change studies due to they properly represent the climate system by describing the main dynamic and physical processes, their interaction and feedbacks. The GCMs accurately describe climatic features in South America at monthly to decadal scales. However, their capacity to represent synoptic weather patterns has been little explored yet. In this context, the capability of the GCMs in reproducing daily atmospheric circulation in the south of

South America for the period 1979-1999 was explored in this study. Daily fields of 500 hPa geopotential heights from NCEP reanalyses 2 dataset were used as representative of observed circulation. Model outputs from the climate of the 20th century (20C3M) were also used. The set of climate simulations was generated for the IPCC Fourth Assessment Report (AR4).

The comparison between reanalyses and GCMs was performed by means of the principal component analysis. Results show that the main characteristics of synoptic patterns are reproduced by the GCMs, explaining similar percentage of variance. However, their performance depends on the model analysed and the season of the year. GCMs tend to represent a lesser presence of the time mean pattern giving rise to a more disturbed flow, especially during winter.

**Key words:** geopotential height, global circulation models, southern South America

## INTRODUCCIÓN

En los estudios de cambio climático, los modelos de circulación global (MCGs) juegan un rol fundamental dado que proporcionan una representación del sistema climático, describiendo los principales procesos dinámicos y físicos, sus interacciones y retroalimentaciones. Los MCGs muestran una alta capacidad para simular características de la climatología de la circulación en la región de Sudamérica en escalas de tiempo que van desde la mensual a la decadal (Gulizia *et al.*, 2009; Silvestre y Vera, 2008; Vera *et al.*, 2006; Solman y Le Treut, 2006; Solman y Pessacg, 2006; Di Luca *et al.*, 2006). Sin embargo, su capacidad para reproducir patrones de tiempo en términos de la climatología sinóptica ha sido poco explorada aún. La importancia de este tipo de análisis radica en que la utilidad de los MCGs se ve restringida para estudios de escalas locales debido a su baja resolución espacio-temporal. Las técnicas de reducción de escala o “downscaling” se han desarrollado como puentes entre la información generada por los modelos de gran escala y la información en escala local, con el fin de realizar pronósticos a corto-mediano plazo y de estudiar los potenciales impactos del cambio climático futuro. De manera tal que, la utilización de las salidas diarias de los MCGs para estudios de clima local estará supeditada a la aptitud de los mismos para representar los sistemas atmosféricos de escala regional.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad de un conjunto de modelos de circulación global en reproducir los campos de altura geopotencial de 500 hPa en el sur de Sudamérica durante el siglo XX.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar este trabajo se utilizaron campos diarios de altura geopotencial de 500 hPa de los Reanálisis 2 NCEP provenientes del NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center como representativos de la circulación observada en el período 1979-1999. El dominio elegido se extiende de 15°S a 60°S de latitud y de 40°O a 90°O de longitud.

Conjuntamente se utilizaron campos diarios de la misma variable de las salidas de cinco MCGs para el siglo XX (escenario 20C3M), generadas para el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC-AR4, por sus siglas en inglés). Las salidas utilizadas en este trabajo corresponden a los siguientes modelos: ECHAM5/MPI-OM (Roeckner, 2007), FUB-EGMAM (Niehoerster, 2008), IPSL-CM4 (Dufresne, 2007), BCCR-BCM2.0 (Drange, 2006) y UKMO-HadCM3 ([https://esg.llnl.gov:8443/metadata/showObject.do?id=pcmdi.ipcc4.ukmo\\_hadcm3.20c3](https://esg.llnl.gov:8443/metadata/showObject.do?id=pcmdi.ipcc4.ukmo_hadcm3.20c3)

m). Estos modelos fueron seleccionados debido a que son los únicos modelos donde se encuentran disponibles las salidas diarias de la variable altura geopotencial en las bases de datos del World Data Center for Climate (WDCC) y del World Climate Research Programme - Coupled Model Intercomparison Project (WCRP-CMIP3).

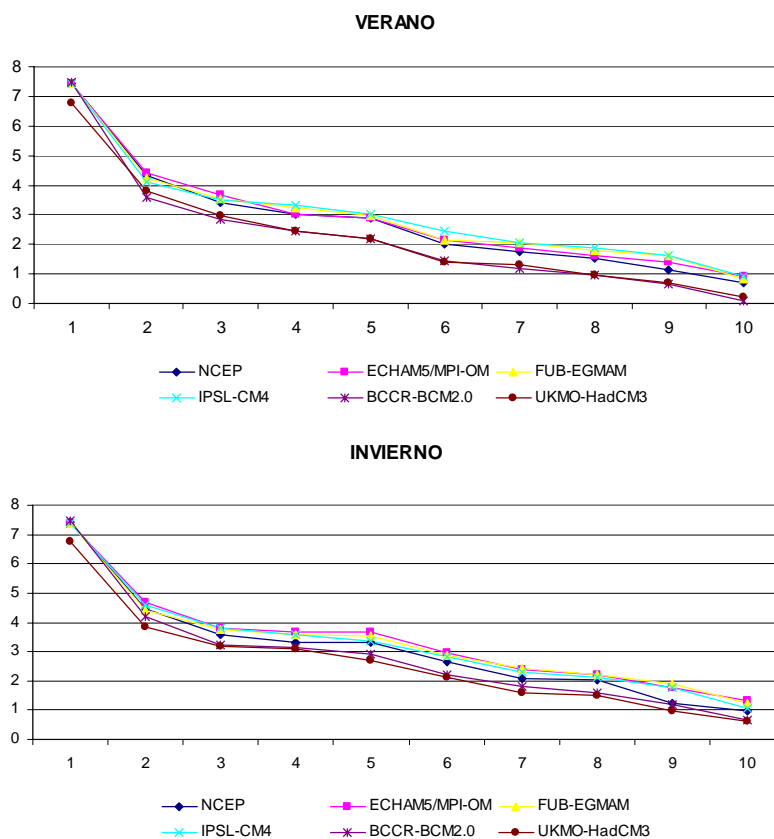
El período analizado en los modelos es coincidente con el de los reanálisis 1979-1999, excepto para el modelo UKMO-HadCM3 donde se analizaron los únicos datos disponibles de salidas diarias de altura geopotencial de 500 hPa (1979-1989).

La metodología utilizada para estudiar las estructuras espaciales de los campos y su evolución temporal, tanto en los reanálisis como en las salidas de los MCGs fue el Análisis de Componentes Principales (ACP) (Jolliffe, 1986; Richman, 1986). La matriz de correlación fue utilizada como matriz de similitud entre campos. La selección de las bases de componentes principales (CP) retenidas se realizó en base al criterio desarrollado por Craddock y Flood (1969) que consiste en graficar el logaritmo de autovalor (diagrama de LEV) en función del orden de las CP y buscar el punto a partir del cual la curva se aproxima a una recta.

Las estaciones del año analizadas en este trabajo corresponden al verano (diciembre-enero-febrero) e invierno (junio-julio-agosto).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Bases de CPs



La separación de los sucesivos autovalores determina el número de CPs a retener en el análisis.

En los diagramas de LEV del NCEP (Figura 1) puede observarse que, en ambas estaciones del año, la separación entre la quinta y la sexta CP es mayor que las subsiguientes separaciones.

Figura 1. Diagramas de LEV (logaritmo del autovalor) para las 10 primeras CPs.

Esto sugiere que cinco es el número más apropiado

de CPs a retener tanto en verano como en invierno.

Las curvas de los diagramas de LEV correspondientes a los MCGs acompañan, en términos generales, a las curvas del NCEP. En particular, los quiebres y saltos se muestran bien representados por los MCGs. Las excepciones más evidentes se

presentan durante el verano en el modelo IPSL-CM4, donde no se observan quiebres o saltos importantes.

La primera CP no rotada puede identificarse con el patrón del campo medio (Compagnucci y Vargas, 1986; Huth, 1996). Por lo tanto, la varianza explicada por la primera CP se aproxima a la varianza explicada por el campo medio, mientras que las varianzas explicadas por las CPs restantes corresponden a patrones que pueden interpretarse como desviaciones respecto de la media temporal.

El porcentaje de varianza explicada por la primera CP se muestra en la Figura 2. La CP1 del verano en NCEP explica un 90.1% de la varianza total.

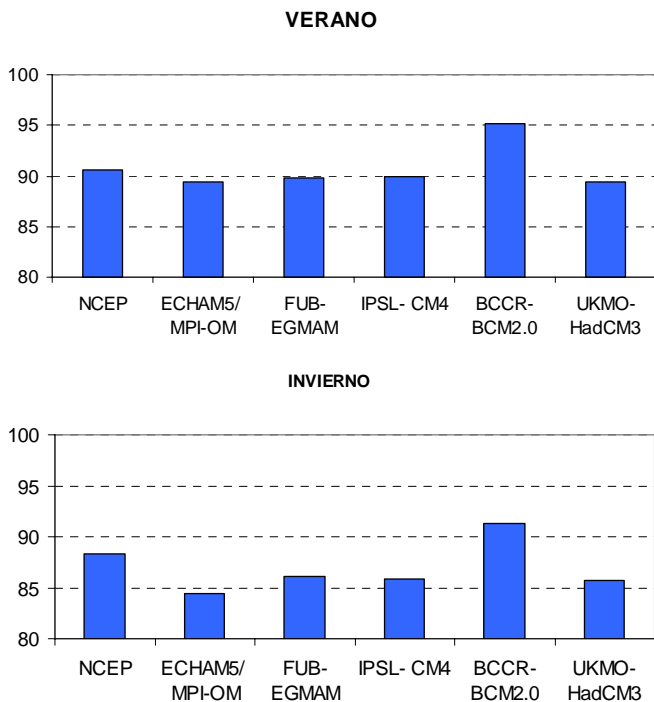


Figura 2. Porcentajes de Varianza Explicada por la primera CP según el NCEP y los MCGs analizados para la altura geopotencial de 500 hPa, en verano e invierno.

Los MCGs explican porcentajes similares con la excepción del modelo BCCR-BCM2.0 que sobrestima dicho porcentaje. En cambio, durante el invierno, el porcentaje de varianza explicada por la primera CP de los MCGs es inferior al correspondiente valor en el conjunto de NCEP (88.4%).

La excepción la presenta nuevamente el modelo BCCR-BCM2.0 sobreestimando el valor del porcentaje.

Tanto en invierno como en verano, los campos medios de altura geopotencial de 500 hPa son aproximadamente zonales (no mostrado). De forma tal que, a mayor varianza explicada por la primera CP, relativamente menor es la circulación meridional y viceversa. En este sentido, los resultados indican que durante el invierno los modelos tienden a representar una menor presencia del campo medio y una mayor presencia de perturbaciones. Es decir, los MCGs reproducen inviernos más perturbados que lo observado. El modelo BCCR-BCM2.0, por el contrario, mantiene la circulación más cercana al campo medio con un debilitamiento de las perturbaciones en ambas estaciones del año.

Los porcentajes de varianza explicada por las restantes CPs de los conjuntos de datos analizados se muestran en la Figura 3.



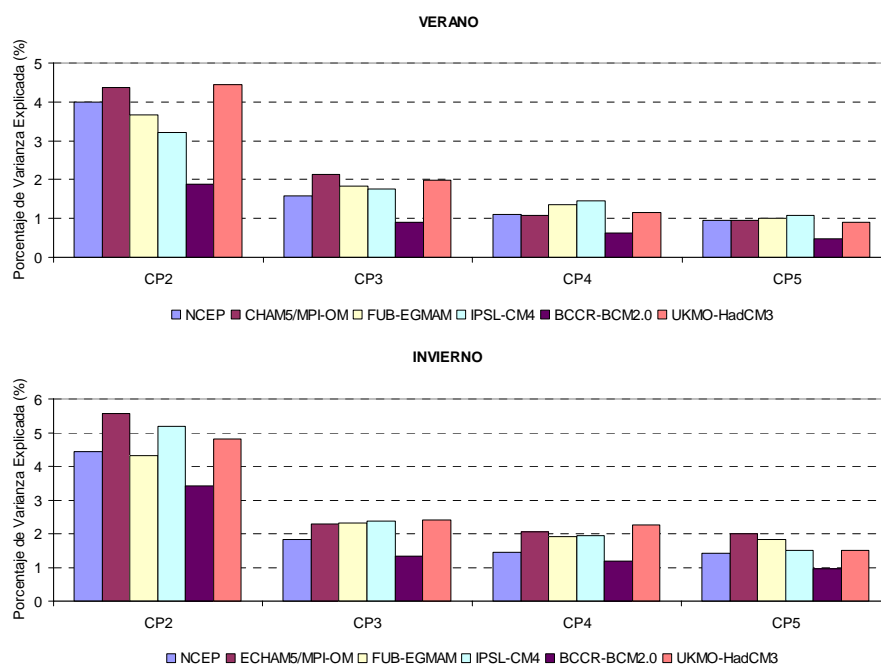


Figura 3. Porcentajes de Varianza Explicada por las restantes CPs retenidas para la altura geopotencial de 500 hPa en el NCEP y los MCG en ambas estaciones del año.

En todos los casos, se puede observar que las varianzas explicadas por las CPs de los MCGs superan en su mayoría a las varianzas explicadas por las CPs del NCEP. La excepción la presenta el modelo BCCR-BCM2.0. Estos resultados confirman la hipótesis de que aquellos modelos que tienden a reproducir en menor medida el campo medio, aumentan su representación de las perturbaciones del flujo y viceversa.

Con el fin de evaluar la variabilidad interanual de la CP1 representada por los MCGs, se calcularon las series temporales de varianza explicada por la primera CP para el verano e invierno. En la Tabla 1 se muestran los desvíos estándares de dichas series temporales.

Tabla 1. Desvíos estándares las series temporales de varianza explicada por la primera CP en verano e invierno.

	NCEP	MPI- ECHAM5	FUB- EGMAM	IPSL- CM4	BCCR- BCM2.0	UKMO- HADCM3
Verano 500 hPa	1.6	1.7	1.6	1.1	0.8	1.3
Invierno 500 hPa	1.6	2.0	2.4	1.8	1.3	2.2

La variabilidad interanual de la primera CP de verano está mejor reproducida por los modelos ECHAM5/MPI-OM y FUB-EGMAM, mientras que los demás modelos analizados subestiman dicha variabilidad. Durante el invierno, los modelos tienden a sobrestimar la variabilidad del campo medio (representado por la CP1), siendo el modelo IPSL-CM4 el que mejor la representa.

### Patrones espaciales

Otro aspecto de importancia a tener en cuenta en la comparación con los MCGs es la representación de los patrones espaciales de las CPs. En las Figuras 4 y 5 se muestran los patrones espaciales de las primeras 5 CPs del NCEP y de los MCGs para ambas estaciones del año.

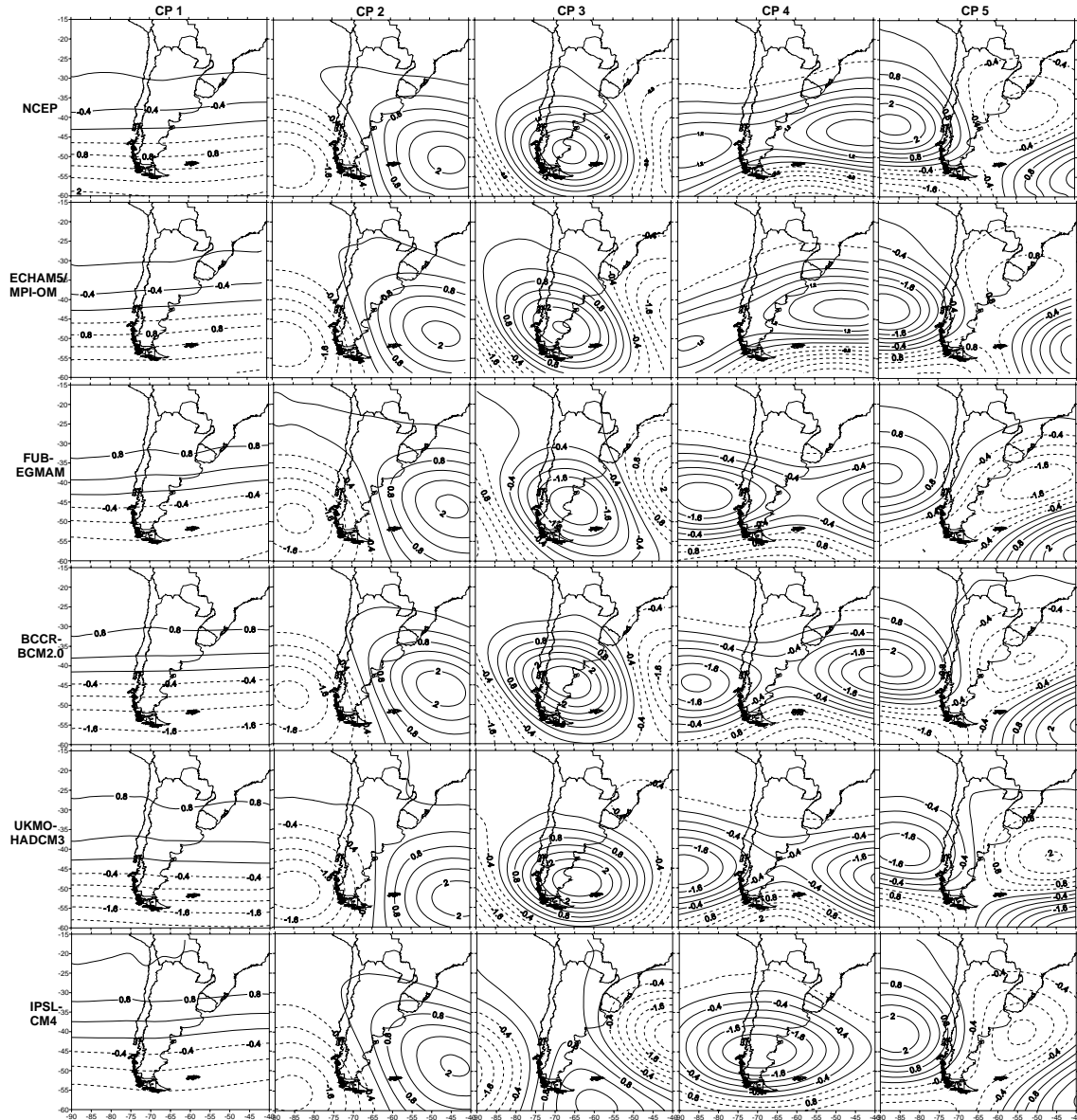


Figura 4. Patrones espaciales de las 5 primeras CPs para el NCEP y los MCGs analizados para el verano.

En estas figuras se verifica la propiedad de que la primera CP no rotada de los datos originales se asemeja al campo medio de la variable en cuestión. En ambas estaciones, puede observarse que la estructura espacial de la primera CP del NCEP representa al campo medio de la altura geopotencial de 500 hPa que corresponde a un flujo zonal, extendido más hacia el norte durante el invierno. Tanto el patrón espacial del campo medio, así como también su variación estacional son capturados por los MCGs (estructuras de la primera CP para los MCGs).

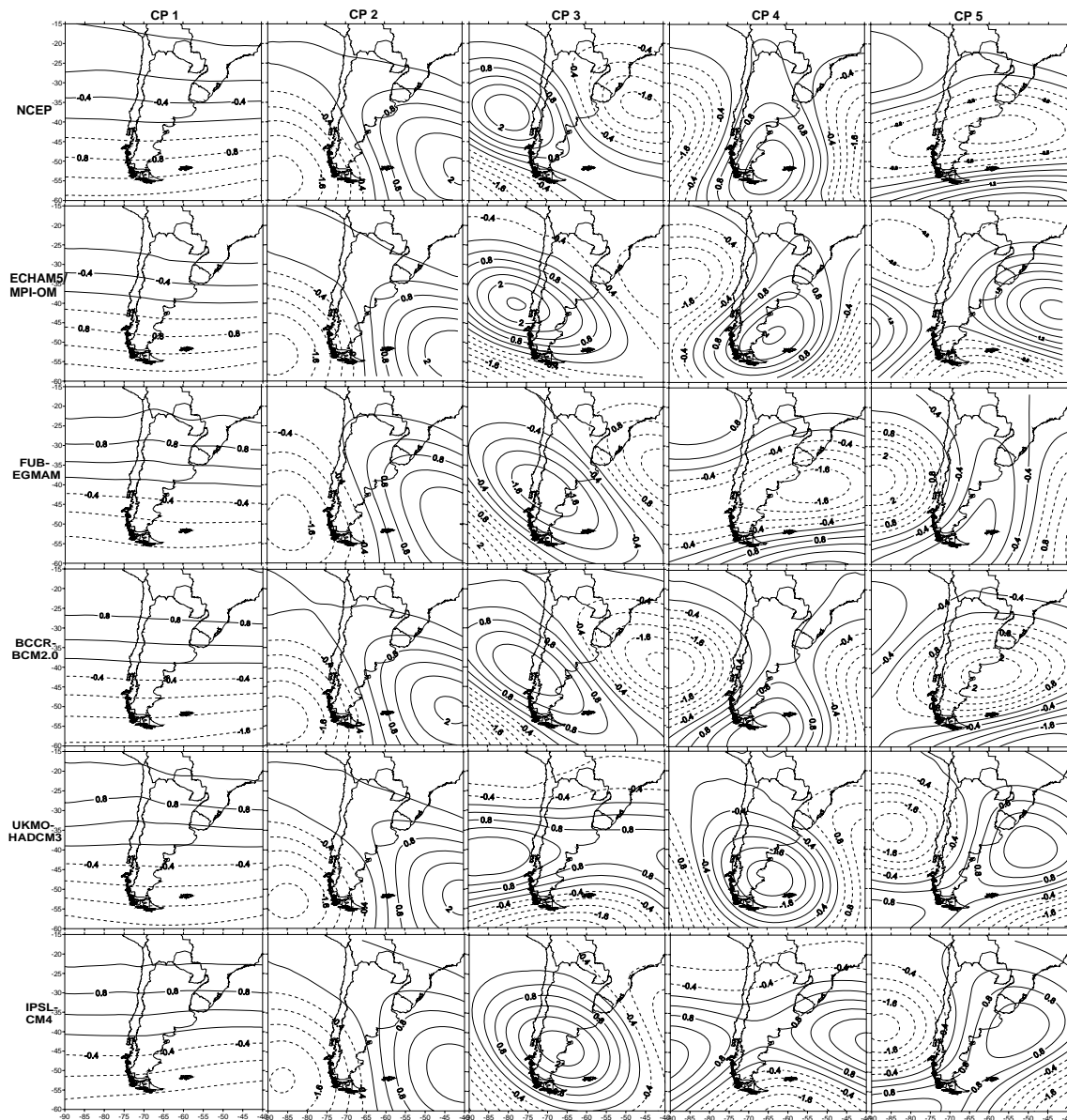


Figura 5. Patrones espaciales de las 5 primeras CPs para el NCEP y los MCGs analizados para el invierno.

Para la base de datos de NCEP (primera fila en las Figuras 4 y 5) y en ambas estaciones del año, el patrón de la CP2 contribuye con una estructura dipolar. Esta estructura principal favorece la intensificación de la componente meridional de flujo del norte en el modo directo y del sur en el indirecto. La CP3 de verano muestra un patrón de anomalías con centro en el sur de Argentina y Atlántico Sur, indicando un debilitamiento o intensificación de las perturbaciones según el modo. Este patrón puede identificarse, aunque más extendido hacia latitudes bajas, en el patrón de la CP4 de invierno. La CP4 de verano muestra una franja de intensificación de la anomalía del campo de geopotencial en latitudes medias, especialmente sobre los océanos, mientras que la CP5 presenta un campo que contribuye con anomalías de signos opuestos latitudinal y longitudinalmente en escalas espaciales inferiores a las otras CP. En el invierno, el patrón de la CP 3 presenta un campo dipolar en las anomalías cuyos centros se ubican sobre los océanos alrededor de 35°S mientras que la CP5 presenta un patrón

de anomalías extendido zonalmente que favorece una intensificación (debilitamiento) de los oestes hacia el norte en el modo directo (indirecto).

Al comparar los patrones se observa que, en el verano, las estructuras espaciales correspondientes a las CPs de mayor orden en los MCGs representan en términos generales las estructuras observadas en el NCEP. En el invierno, en cambio, se presentan las mayores diferencias. La estructura espacial de la segunda CP de la altura geopotencial de 500 hPa de invierno se ve representada en forma adecuada por las respectivas estructuras de los MCGs (Figura 5). Las principales diferencias se observan a partir de la tercera CP. En particular, las CP3 y CP5 del modelo UKMO-HADCM3 y las CP4 y CP5 del modelo IPSL-CM4 no se corresponden con las estructuras espaciales del NCEP. Lo mismo ocurre con la CP5 del modelo MPI-ECHAM5. Estos resultados indicarían que estos modelos tienen más dificultades para capturar la ubicación y forma de las perturbaciones del flujo durante la época de mayor baroclinicidad. El modelo FUB-EGMAM, en cambio, presenta las estructuras de las CP4 y CP5 intercambiadas en el orden con respecto a las CP4 y CP5 del NCEP. Esto puede deberse a que los órdenes de varianza de estas CPs son muy similares, 1.9% y 1.8% para las CPs del modelo y 1.4% para ambas CPs del NCEP.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se exploró la capacidad de los modelos de circulación global (MCGs) en reproducir la circulación diaria en el sur de Sudamérica en el período 1979-1999. Los resultados muestran que las principales propiedades del análisis de componentes principales son reproducidas por los MCGs. Sin embargo, la representatividad de los mismos depende del modelo analizado y de la estación del año considerada. En general, los MCGs tienden a representar una menor presencia del campo medio de las variables dando lugar a una mayor presencia de las perturbaciones del flujo, principalmente durante el invierno. Los patrones espaciales son bien representados por los MCGs, especialmente durante el verano. Durante el invierno, en cambio, los modelos muestran una mayor dificultad para capturar la ubicación y forma de las perturbaciones del flujo.

## AGRADECIMIENTOS

A los proyectos de la Universidad de Buenos Aires (UBACYT X170 y X605), de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (BID 1728-AR-PICT 38273) y al proyecto CLARIS LPB de la Comunidad Europea por financiar este trabajo. Las autoras agradecen a Pablo Andrés Krieger por su asistencia en los cálculos y confección de gráficos.

## BIBLIOGRAFIA

- COMPAGNUCCI R.H. y VARGAS W.M., 1986. Patterns of surface pressure field during July 1972-1983 in southern South America and the Antarctic peninsula. Third Int Conference on Statistical Climatology, Vienna
- CRADDOCK, J.M. y FLOOD C.R., 1969. Eigenvectors for representing the 500 mb geopotential surface over the Northern Hemisphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 95: 576-593.
- DRANGE, 2006. ENSEMBLES BCCR-BCM2.0 SRESB1 run1, daily values. World Data Center for Climate. CERA-DB "ENSEMBLES\_BCM2\_SRB1\_1\_D" <http://cera->

- [www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=ENSEMBLES\\_BCM2\\_SRB1\\_1\\_D](http://www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=ENSEMBLES_BCM2_SRB1_1_D)
- DI LUCA, A.; CAMILLONI, I. y BARROS, V. 2006. Sea-level pressure patterns in South America and the adjacent oceans in the IPCC-AR4 models. 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. 24 al 28 de abril 2006, Foz de Iguazú, Brasil. p. 235-243.
- DUFRESNE. 2007. ENSEMBLES IPSL-CM4 20C3M run1, daily values. World Data Center for Climate. CERA-DB "ENSEMBLES\_IPCM4\_20C3M\_1\_D" [http://cera-ww.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=ENSEMBLES\\_IPCM4\\_20C3M\\_1\\_D](http://cera-ww.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=ENSEMBLES_IPCM4_20C3M_1_D)
- GULIZIA, C., CAMILLONI, I. y DOYLE, M. 2009. Evaluation of the moisture transport and convergence in southern South America in the WCRP-CMIP3 multimodel dataset. MOCA-09, 19-29 de Julio, Montreal, Canada.
- HUTH, R. 1996. Properties of the circulation classification scheme based on the rotated principal component analysis. *Meteorol Atmos Phys*, 59: 217-233.
- JOLLIFFE, I.T. 1986. Principal Component Analysis. Springer-Verlag, 271 pp.
- NIEHOERSTER. 2008. ENSEMBLES EGMAM 20C3M run1, daily values. World Data Center for Climate. CERA-DB "ENSEMBLES\_FUBEMA\_20C3M\_1\_D" [http://cera-ww.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=ENSEMBLES\\_FUBEMA\\_20C3M\\_1\\_D](http://cera-ww.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=ENSEMBLES_FUBEMA_20C3M_1_D)
- RICHMAN, M.B. 1986. Rotation of Principal Components. *Int. J. Climatol.*, 6: 293-335.
- ROECKNER, 2007. ENSEMBLES ECHAM5-MPI-OM 20C3M run1, daily values. World Data Center for Climate. CERA-DB "ENSEMBLES\_MPEH5\_20C3M\_1\_D" [http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=ENSEMBLES\\_MPEH5\\_20C3M\\_1\\_D](http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=ENSEMBLES_MPEH5_20C3M_1_D)
- SILVESTRI, G. y VERA, C.S. 2008. Evaluation of the WCRP-CMIP3 model simulations in the La Plata Basin. *Meteorol. Appl.*, 15: 497–502.
- SOLMAN, S. y LE TREUT, H. 2006. Climate change in terms of modes of atmospheric variability and circulation regimes over southern South America. *Clim. Dyn.*, 26: 835–854.
- SOLMAN, S. y PESSACG, N. 2006. Analysis of low frequency variability patterns and circulation regimes over southern South America and their response to global warming as depicted by IPCC AR4 AOGCMs. 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. 24 al 28 de abril 2006, Foz de Iguazú, Brasil. p. 441-449.
- VERA, C., SILVESTRI, G.; LIEBMANN, B. y GONZALEZ, P. 2006. Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L13707, doi:10.1029/2006GL02



# ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PRECIPITACIONES EN LA REGIÓN NOROESTE DE LA ARGENTINA

*Some characteristics of precipitations in the Northwestern region of Argentina*

**Hurtado, Rafael, Serio, Leonardo<sup>\*</sup>, Faroni, Analía y Vich, Hernán**

Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Agronomía, UBA  
Av. San Martín 4453 - C1417DSE - Buenos Aires, Argentina  
serio@agro.uba.ar

## RESUMEN

Uno de los elementos más sensibles a la variabilidad y el cambio del clima son las precipitaciones. En gran parte del centro y norte de Argentina, el aumento de las precipitaciones anuales durante las últimas cuatro décadas ha oscilado entre 10 y 40 %, mientras que al oeste de los Andes las tendencias han sido negativas.

En la región del Noroeste Argentino (NOA), el agua es el principal factor que condiciona las características y el uso de los recursos naturales, además de ser el principal agente de erosión del suelo. El objetivo del presente trabajo es analizar el comportamiento de las precipitaciones de la región del NOA, estudiando la posible existencia de cambios persistentes y calculando los periodos de retorno de eventos extremos. Para realizar el presente trabajo, se utilizaron series de precipitación diaria de 18 localidades, del periodo comprendido desde enero de 1960 hasta marzo de 2008. Se realizó un análisis de tendencia a escala mensual, anual y estacional. Además, se extrajo el máximo valor diario de cada año y se ajustó una función distribución de Gumbel para valores extremos.

No se observó homogeneidad en cuanto a las tendencias de las precipitaciones en la región. Las mayores tendencias positivas se registraron en Orán, Pozo Sarmiento y Cuatro Cedros (Salta) y Los Sosa (Tucumán). Los valores extremos de precipitación diaria para estas localidades varían entre 60 y 130 mm, para periodos de retorno de 2 años, y entre 150 y 290 mm para 100 años.

**Palabras clave:** precipitación, cambio climático, noroeste argentino

## SUMMARY

One of the most sensitive elements to climate variability and change are the precipitations. During the last four decades, in a major part of Central and Northern Argentina there has been an increase between 10 and 40 percent in annual total rainfall. At the same time, to the west of the Andes the precipitation trends have become negatives.

In the Northwestern region of Argentina (NOA), water is the most important factor that condition the features and use of natural resources, and the principal agent of soil erosion also. The aim of this paper is to analyse the behavior of precipitations in the NOA region, looking for persistent changes and calculating return period of extreme values.

In order to do this work, there were used daily rainfall data from 18 stations, covering the period from January 1960 to March 2008. A trend analysis was applied in the

monthly, seasonal and annual scales. Moreover, the maximum daily rainfall value from each year was used to be adjusted to a Gumbel's extreme-values distribution function. No homogeneity was observed in precipitation trends in the whole region. The highest positive trends were recorded in Orán, Pozo Sarmiento and Cuatro Cedros (Salta), and Los Sosa (Tucumán). For the 2-years return period, the extreme values of daily rainfall in these locations are between 60 and 130 mm, and they climb to 150-290 mm for the 100-years return period.

**Key words:** precipitation, climate change, Northwestern of Argentina

## INTRODUCCIÓN

Uno de los elementos más sensibles a la variabilidad y el cambio del clima son las precipitaciones. Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007), el sur de Sudamérica es la región del planeta que muestra el mayor contraste en cuanto a las tendencias de la precipitación durante el último siglo, con tendencias negativas al oeste de los Andes y positivas al este. En gran parte del centro y norte de Argentina, el aumento de las precipitaciones anuales ha oscilado entre 10 y 40 % (Castañeda y Barros, 1994; Minetti, 2005; Berbery *et al.*, 2006).

Los cambios en la magnitud y estacionalidad de las precipitaciones pueden ser estudiados a partir de distintos indicadores: tendencia de largo plazo en series de precipitación anual o estacional, medidas de dispersión o variabilidad de dichas series y frecuencia de eventos extremos o mayores que un determinado umbral. Liebmann *et al.* (2004) estudiaron las tendencias de precipitación en Sudamérica en el período 1976-1999. Encontraron que el total de la precipitación en los meses de verano se ha incrementado, principalmente entre las latitudes 25°-50° S con un aumento del 40 %, posiblemente asociado al aumento de la temperatura superficial del océano Atlántico sur. Serio y Martin (2006) mostraron que ese incremento de las precipitaciones estivales de las últimas 3 décadas en el centro y este de Argentina estuvo acompañado por un aumento de la variabilidad. Camillioni y Doyle (2004) encontraron que, en ese mismo período, la frecuencia de episodios con precipitación mayor a 100 mm acumulados en intervalos de hasta 48 hs se ha triplicado.

En la región del Noroeste Argentino (NOA), caracterizada por la heterogeneidad de relieve, biomas y climas, la gran variación altitudinal provoca acusadas irregularidades espaciales y temporales en la distribución de las precipitaciones. Por ello, el agua es el principal factor que condiciona las características y el uso de los recursos naturales, además de ser el principal agente de erosión del suelo (Bianchi y Yáñez, 1992). Esta región no es ajena a los cambios que se están produciendo y profundizando a escala global y regional. Minetti *et al.* (2003) analizaron las tendencias de la precipitación en Argentina y Chile para el período 1931-1999. Encontraron regiones con tendencia no lineal decreciente, una en el centro de Chile y otras dos en Argentina; mientras que en el NOA encontraron algunas localidades con tendencias crecientes y otra no.

El objetivo del presente trabajo es analizar el comportamiento de las precipitaciones de la región del NOA, estudiando la posible existencia de cambios persistentes y los períodos de retorno de eventos extremos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el presente trabajo, se utilizaron series de precipitación diaria de 18 estaciones y solo 1 serie con datos mensuales (Rivadavia). Las estaciones pertenecen al



Servicio Meteorológico Nacional (SMN), al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y a la Red Hidrológica Nacional (RHN), y su ubicación se presenta en la Figura 1. La información analizada correspondió al periodo 1960 hasta marzo de 2008.

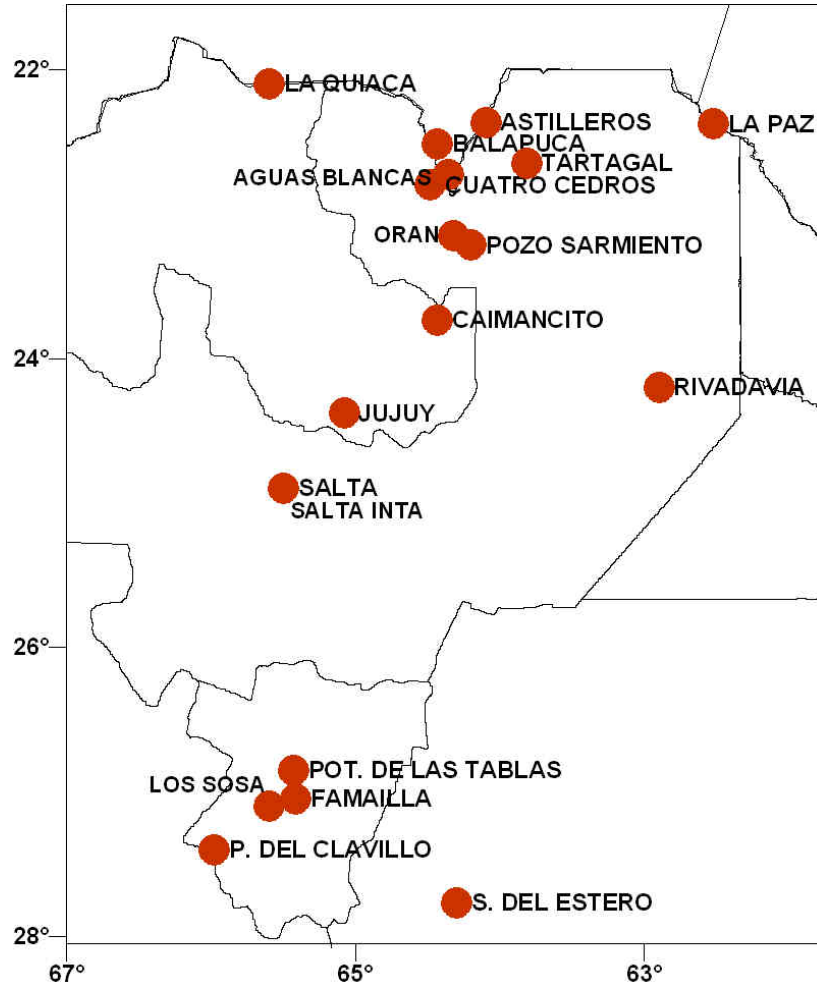


Figura 1: Ubicación de las localidades en estudio.

Con las series diarias se calcularon los valores mensuales, con los cuales se efectuó un análisis de tendencia mediante el test de Mann-Kendall. Este estudio se hizo a escala mensual, anual y estacional, considerando como el verano a los meses de diciembre, enero y febrero; y los trimestres sucesivos para otoño, invierno y primavera, respectivamente.

De las series de datos diarios se extrajo el máximo valor registrado cada año en cada localidad y se les ajustó una distribución de probabilidad de máximos extremos (Gumbel, 1960) para determinar magnitudes de eventos máximos (precipitación en 24 hs) con diferentes periodos de retorno. Además, se contabilizó el número de veces en que la precipitación máxima diaria ocurrió en cada mes del periodo lluvioso de la región, esto es de octubre a abril.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Del análisis de tendencia mensual, anual y estacional se observa la inexistencia de un comportamiento homogéneo para toda la región (Tabla 1). En algunos meses se observan tendencias significativas en más de una localidad, pero con signos opuestos. Esto ocurre, por ejemplo, en enero en Orán y Jujuy Aero, y también en febrero en Pozo Sarmiento y Potrero de las Tablas. En marzo hay cuatro localidades con tendencia positiva y significativa: Los Sosa, Caimancito, Rivadavia y Pozo Sarmiento.

Es notable el comportamiento en el mes de julio, donde la mayoría de las localidades presentan tendencias negativas, aunque sólo Tartagal, La Paz, Orán y Rivadavia con significancia estadística. Para los valores anuales las localidades con mayores tendencias significativas son Orán, Los Sosa y Cuatro Cedros (significancia del 95%) y Pozo Sarmiento (99%). Todas ellas tienen una precipitación media anual mayor a 950 mm.

En cuanto a los períodos de retorno, obtenidos a través de la función de Gumbel, dejaremos al margen del análisis a la estación La Quiaca, pues su régimen de precipitación difiere notablemente de las demás localidades, ya que se trata de una localidad donde la media anual es de sólo 328 mm. En las demás localidades, la precipitación diaria con períodos de retorno de 2 años varía desde 60 mm (Salta INTA) a 129 mm (Los Sosa, Tucumán). Al considerar mayores períodos de retorno, 1 vez cada 100 años se pueden producir eventos diarios de entre 156 mm (Salta Aero) y 287 mm (Balapuca, Salta) (Tabla 2).

En 13 de las 18 localidades analizadas la máxima precipitación diaria se registra con mayor frecuencia en enero (Tabla 3). Las excepciones son: Salta INTA y Pozo Sarmiento (en diciembre), Orán y La Paz (en febrero) y Potrero del Clavillo (en Marzo).

## **CONCLUSIONES**

No se observa una homogeneidad en cuanto a las tendencias de las precipitaciones en esta región. Sólo el mes de Julio presenta una tendencia en disminución generalizada, pero no para todas las localidades es estadísticamente significativa. En cuanto a las precipitaciones anuales, los mayores incrementos fueron observados en algunas localidades del norte de Salta (Orán, Pozo Sarmiento y Cuatro Cedros) y en una localidad de Tucumán (Los Sosa).

Para el período de retorno de dos años, los valores extremos de precipitación diaria en las localidades analizadas varían entre 60 mm (Salta INTA) y 129 mm (Los Sosa, Tucumán). La precipitación correspondiente al período de retorno de 100 años oscila entre 156 mm (Salta Aero) y 287 mm (Balapuca, Salta).

Los máximos de precipitación diaria se producen con mayor frecuencia en el mes de enero, seguido por marzo, diciembre y febrero.

Tabla 1. Tendencias lineales (mm/100 años) de las series de precipitación. En gris, significativo al 90%, \* al 95%, \*\* al 99%.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Famailla	219	-173	-33	120	57	29	-7	-32	3	43	105	61	489	48	2	47	96
P del Cavillo	143	-144	44	50	19	13	-5	20	-7	47	-37	*149	296	47	10	1	60
Pot de las Tablas	61	*-336	-76	-43	37	0	-18	-13	20	3	-126	-88	-606	-26	-8	-36	-146
Los Sosa	283	-4	*268	144	*111	**79	-3	-13	35	18	-18	194	*1171	**185	27	11	-146
S del Estero	18	-32	40	0	0	6	-5	-9	-2	*71	12	67	202	13	-3	27	33
Jujuy	*-196	-6	-56	6	2	0	0	-12	1	22	10	*174	-51	-17	-4	10	12
Caimancito	-81	-103	*177	-25	33	-16	-5	-5	19	86	14	78	378	57	-8	32	-32
Rivadavia	54	4	168	-43	20	-9	** -16	**15	20	47	42	9	201	54	-3	36	-12
Salta	67	-80	-32	-19	-5	*-6	-1	-1	5	-8	11	31	-33	-19	-3	3	27
Salta INTA	32	-118	101	-11	3	-5	4	0	7	50	-70	122	317	14	0	-2	34
Pozo Sarmiento	135	*195	*222	*115	40	3	-4	19	34	32	85	92	**981	**136	7	50	*134
Oran	*128	112	173	-21	-21	-2	*-10	3	38	14	42	62	*541	43	-4	36	106
Tartagal	50	27	144	-100	-22	-9	-10	2	11	-17	-37	147	190	7	-6	-14	90
Astilleros	-145	37	-15	101	39	-24	-17	-21	8	-18	31	53	44	65	-17	-4	-102
La Paz	16	-10	61	31	-17	-13	-15	-12	-7	24	51	-2	70	32	-13	22	11
Agua Blancas	2	36	68	135	33	2	-15	-3	22	47	28	77	461	42	-4	33	77
Cuatro Cedros	206	-46	203	*228	25	14	2	7	14	71	84	63	*823	*170	10	56	88
Balapuca	-115	-172	12	67	*98	-10	-3	-14	38	110	112	-42	-249	59	-8	87	-110

Tabla 2: Periodo de retorno de valores diarios de acuerdo a la distribución de probabilidad de máximos extremos de Gumbel.

<b>T (años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
Famailla Inta	103	138	162	192	214	236
Pot. del Clavillo	77	119	146	181	207	233
Pot. de las Tablas	110	151	178	212	238	263
Los Sosa	129	168	194	227	251	276
Sgo del Estero	68	93	110	131	147	162
La Quiaca	26	36	42	50	56	62
Jujuy aero	69	95	112	134	150	167
Caimancito	95	123	141	164	182	199
Salta	69	92	108	127	142	156
Salta Inta	60	90	110	135	153	172
Pozo Sarmiento	92	123	143	169	188	207
Oran	99	130	150	176	196	215
Tartagal	100	134	156	184	206	226
Astilleros	114	146	167	194	214	234
La Paz	90	128	153	185	209	232
Agua Blancas	106	144	168	200	223	246
Cuatro Cedros	114	151	176	206	229	252
Balapuca	120	164	194	231	259	287

Tabla 3: Frecuencia absoluta de valores máximos de precipitación diaria en los meses de mayor precipitación.

	<i>Enero</i>	<i>Febrero</i>	<i>Marzo</i>	<i>Abril</i>	<i>Octubre</i>	<i>Noviembre</i>	<i>Diciembre</i>
Famailla Inta	14	7	5	2	3	2	6
Pot. del Clavillo	13	9	14	3	3	4	6
Pot. de las Tablas	20	10	5	1	3	4	4
Los Sosa	22	8	7	1	2	5	7
Sgo del Estero	18	14	5	0	1	2	9
La Quiaca	14	11	9	0	3	3	7
Jujuy aero	18	12	3	1	0	2	5
Caimancito	20	12	5	2	1	3	8
Salta	21	9	2	0	0	2	14
Salta Inta	12	5	4	0	0	2	17
Pozo Sarmiento	11	11	12	0	6	2	14
Oran	11	13	10	3	2	0	9

Tartagal	15	11	7	1	0	3	10
Astilleros	9	6	8	1	2	2	6
La Paz	9	7	11	2	3	5	5
Agua Blancas	16	12	11	4	1	5	8
Cuatro Cedros	14	7	9	2	0	4	7
Balapuca	9	8	9	1	0	3	5

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realiza en el marco del proyecto UBACyT G078. Los autores agradecen al Servicio Meteorológico Nacional y al Sistema Nacional de Información Hídrica por la información brindada para realizar el trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- BERBERY, E.H., DOYLE, M. y BARROS, V. 2006. Tendencias regionales de la precipitación. *En: El Cambio Climático en la Cuenca del Plata*. V. Barros, R. Clarke y P. Silva Dias (eds.). CONICET, Bs.As. pp 67-79.
- BIANCHI, A.R. y YÁÑEZ, C.E. 1992. Las precipitaciones en el Noroeste Argentino. 2<sup>da</sup> edición. INTA, EEA Salta. 384 p.
- CAMILLIONI, I. y DOYLE, M. 2004. Southern South America climate trends. 2<sup>nd</sup> AIACC Regional Workshop for Latin America and the Caribbean. <http://www.aiaccproject.org/meetings/BuenosAires.html>
- CASTAÑEDA, M.E. y BARROS, V. 1994. Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes. *Meteorologica* 19: 23-32.
- GUMBEL, E.J., 1960. Multivariate extremal distributions. *Bulletin Int. Statist. Inst.* 39 (2), pp. 471-475.
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (Eds). IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- LIEBMANN, B., VERA, C. CARVALHO, L. CAMILLONI, I. BARROS, V. HOERLING, M. y ALLURED, D. 2004. An observed trend in Central South American precipitation. *J. Climate* 17, 4357-4367.
- MINETTI, J.L., 2005. El Clima del Noroeste Argentino. Ed. Magna, S.M. de Tucumán. 350 p.
- MINETTI, J., VARGAS, W., POBLETE, A. ACUÑA, L. y CASAGRANDE G., 2003. Non linear trends and Non linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera* 16: 119-135.
- SERIO, L. y MARTIN, P. 2006. Cambios en los valores centrales y extremos de las distribuciones mensuales de precipitación en el centro-este de Argentina. Actas XI Reunión Arg. Agromet., La Plata, Bs.As. pp 279-280.



# TENDENCIAS DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN EL NOROESTE ARGENTINO

## *Trends of maximum and minimum temperatures in Northwestern Argentina*

Rafael Hurtado, María Elena Fernández Long y Leonardo Serio \*

Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Agronomía, UBA  
Av. San Martín 4453 - C1417DSE - Buenos Aires, Argentina  
serio@agro.uba.ar

### RESUMEN

En el planeta se han observado cambios en los valores de temperatura media y extremas a lo largo del último siglo. En Argentina, según estudios previos, la temperatura media anual aumentó en casi todo el país aunque no de manera homogénea.

El objetivo del presente trabajo es determinar si existen tendencias en la temperatura del aire estadísticamente significativas en la región del noroeste argentino (NOA). Para ello se analizaron registros históricos de las variables temperatura máxima media mensual y temperatura mínima media mensual. Se trabajó con datos diarios de temperatura máxima y mínima de 8 localidades de las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán y Santiago del Estero, del periodo 1960-2007. El estudio se hizo a escala mensual, estacional y anual. Se calculó la tendencia lineal de cada serie y se determinó la significancia estadística mediante el test de Student. Se observó un aumento generalizado de la temperatura mínima media anual, que osciló entre 2 y 3,6 °C/100 años. Las mayores tendencias corresponden a los meses de octubre y marzo. Las temperaturas máximas medias no muestran un comportamiento tan homogéneo como las mínimas. En el mes de octubre se encontraron los mayores aumentos, y en mayo los mayores decrecimientos. Los incrementos térmicos del mes de octubre en toda la región implican un adelanto en el inicio del período cálido estival y un aumento en la longitud de los bioperíodos, esto conlleva a diagramar la producción de acuerdo a los requerimientos térmicos de cada cultivo.

**Palabras clave:** temperatura, cambio climático, noroeste argentino

### SUMMARY

In the planet have observed changes in mean and extreme temperatures values during the last century. In Argentina, according to previous studies, the mean annual temperature has increased in almost all the country, but not homogeneously. The aim of this study is to determine whether thermal trends exist, and its statistical significance, in the Northwestern region of Argentina (NOA). We analyze historical records of monthly mean maximum and monthly mean minimum temperatures. Daily maximum and minimum temperature data were used. They were from 8 locations in Salta, Jujuy, Tucumán and Santiago del Estero provinces, and cover the 1960-2007 period. The study was made in the monthly, seasonal and annual scales. Linear trend was calculated for each series and its statistical significance was determined using the Student test. There was a general increase in the annual mean minimum temperature that varied between 2 and 3.6 °C/100 years. The highest positive trends were observed in October and March, and the negative one in May. The thermal increments in the whole region during

October involve an earliest onset of warm summer period and an increase in the length of the bioperiod. This leads to plan the production according to the thermal requirements of each crop.

**Key words:** temperature, climate change, Northwestern of Argentina

## INTRODUCCIÓN

Los cambios observados a través del tiempo en los elementos meteorológicos pueden deberse a la variabilidad climática natural, que se percibe como apartamientos respecto a las condiciones climáticas medias o en la frecuencia de valores extremos. Asimismo, algunos cambios pueden manifestarse como incrementos o decrecimientos de las variables climáticas medias originados, en mayor o menor medida, en la alteración de la composición de la atmósfera debido a la actividad humana y en la variabilidad natural del clima (IPCC, 2007).

En el sur de Sudamérica se han observado cambios en los valores de temperatura media y extremas a lo largo del último siglo (Giorgi, 2002, Vincent *et.al*, 2005). En Argentina, la temperatura media anual aumentó en casi todo el país aunque no de manera homogénea (Pascale y Damario, 1994; Hoffmann *et al.*, 1997). Con respecto a las temperaturas extremas, Rusticucci y Barrucand (2004) señalaron que las máximas aumentaron en invierno y disminuyeron en verano, mientras que las mínimas aumentaron en ambas estaciones. Otros cambios observados en distintos elementos del clima en la Argentina fueron sintetizados por Serio (2006). Fernández Long, *et al* (2008) encontraron en la región Pampeana fuertes aumentos en las mínimas y disminución en las máximas, en coincidencia con lo reportado por Nuñez *et al.* (2008), a pesar de que estos últimos utilizaron otro período de tiempo y una región más amplia. Estos cambios han generado un leve aumento en la temperatura media; la cual muestra un comportamiento diferencial a lo largo de los meses, con aumentos en los meses de agosto a noviembre y disminución en enero y febrero (Fernández Long, *et al.* 2008).

El Noroeste argentino (NOA) no escapa de esta tendencia mundial y continental, ya que se han hecho proyecciones para el presente siglo que indican un aumento de las temperaturas y la evaporación y pocos cambios en las precipitaciones, volviéndose más vulnerable al estrés hídrico toda la región (República Argentina, 2007).

El objetivo del presente trabajo es determinar si existen tendencias en la temperatura del aire estadísticamente significativas en algunas localidades del noroeste argentino. Para ello se analizarán las variables temperatura máxima media mensual y temperatura mínima media mensual.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con datos diarios de temperatura máxima y mínima de 8 localidades de las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán y Santiago del Estero (Tabla 1) del periodo 1960-2007.

Se analizó el comportamiento de cada una de las series a lo largo de los años calculando su tendencia lineal. Este estudio se hizo a escala mensual, estacional y anual. Para el caso estacional se consideró como el verano al trimestre diciembre-enero-febrero, y los sucesivos trimestres para otoño, invierno y primavera, respectivamente. Además se determinó la significancia estadística ( $\alpha$ ) de las tendencias, para los niveles de confianza del 90, 95 y 99%, mediante la distribución “t” de Student.



Tabla 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio. Referencias: SMN: Servicio Meteorológico Nacional; INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Provincia	Localidad	Fuente	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Jujuy	La Quiaca obs.	SMN	-22,10	-65,60	3459
Jujuy	Jujuy Aero	SMN	-24,38	-65,08	905
Salta	Oran Aero	SMN	-23,15	-64,32	357
Salta	Salta Aero	SMN	-24,90	-65,50	1221
Salta	Cerrillos	INTA	-24.90	-65.48	1250
Salta	Tartagal	SMN	-22,65	-63,82	450
Tucumán	Famailla	INTA	-27,05	-65,42	363
S. del Estero	Santiago del Estero	SMN	-27.77	-64.30	199

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Temperatura mínima media mensual:

Los meses que registraron mayor aumento en la temperatura mínima fueron octubre, marzo y enero (Tabla 2a).

Se observa que en todas las localidades, en los meses de octubre y marzo las pendientes positivas tienen significancia estadística para niveles entre el 90 y 99%. Lo mismo ocurre cuando se analizan los valores anuales (Tabla 2b), cuyas tendencias oscilan entre 2 y 3,6 °C/100 años.

En octubre, la localidad de Cerrillos (Salta INTA) fue donde se encontró un mayor aumento (5,5 °C/100 años), seguida por Famaillá y Jujuy Aero (5,2 y 4,6 °C/100 años, respectivamente). Se detectaron tendencias positivas significativas en 8 meses del año en las localidades de Tartagal y La Quiaca, y en 7 meses en Orán. En esas tres localidades las tendencias resultaron significativas en cada una de las estaciones del año. El incremento se manifestó en el mayor número de localidades en el verano, y el menor cambio se dio en otoño. Valores negativos de pendiente se registraron en el mes de mayo solamente, y significativa para Santiago del Estero.

### Temperatura máxima media mensual:

Al igual que con las mínimas, el mes de octubre (Tabla 3a) presenta una tendencia en aumento en casi toda la región, a excepción de Orán y Tartagal, que si bien son positivas no llegan a ser significativas.

En contraposición, en mayo la mayoría de las localidades analizadas tienen tendencias negativas, siendo la más importante la de Tartagal (-6,7 °C/100 años). En La Quiaca se observa un aumento de la temperatura máxima media desde abril a diciembre (con la excepción de septiembre), presentando los máximos valores de las pendientes en diciembre y abril (4,1 y 3,5 °C/100 años). Los valores anuales (Tabla 3b) no muestran aumento o decrecimiento con significancia a excepción de La Quiaca, donde se encontró una tendencia positiva de 2,1 °C/100 años. Estacionalmente, lo más notorio ocurrió también en La Quiaca, donde se registraron aumentos significativos de las máximas en otoño, invierno y primavera. También es destacable que en otoño todas las demás localidades reportaron descensos de las máximas, que resultaron significativos en Tartagal y Orán (-3,8 y -1,7 °C/100 años). En verano, sólo se encontró un aumento de 4,7 °C/100 años en Famaillá.

Tabla 2a. Valores de la pendiente de la tendencia lineal (°C/100 años) de la temperatura mínima media mensual en 8 localidades del NOA. Valores significativos al 99 (\*\*\*), 95(\*\*) y 90(\*) %.

Localidades	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Salta</b>	2.2***	0.1	3.9***	1.5	-0.9	2.0	0.8	2.2	-0.7	2.5**	0.6	1.3
<b>La Quiaca</b>	1.7**	1.3	2.5***	3.3***	2.2**	1.8	3.1**	4.4***	1.8	4.4***	1.6	2.3***
<b>S del Estero</b>	1.3	-0.2	2.7***	0.0	-4.3*	1.9	-2.9	1.6	0.1	3.4***	0.5	1.7
<b>Oran</b>	2.1***	0.7	3.3***	2.6**	0.2	3.6*	2.2	3.7*	1.6	3.9***	1.2	2.2***
<b>Famailla</b>	1.8*	1.2	2.1*	1.5	1.0	7.0***	1.7	5.6***	-0.1	5.2***	3.1**	2.6**
<b>Jujuy Aero</b>	2.2**	0.7	3.2***	2.8	-1.4	4.1**	-0.5	2.6	0.4	4.6***	0.9	0.9
<b>Salta INTA</b>	1.9*	0.2	5.1***	1.2	3.3	-1.0	1.2	7.9***	0.9	5.5***	1.6	1.8
<b>Tartagal</b>	2.7***	0.7	3.4***	3.5***	-1.2	5.1**	4.6**	4.6**	1.1	4.3***	1.6	2.5***

Tabla 2b. Valores de la pendiente de la tendencia lineal (°C/100 años) de la temperatura mínima media mensual en 8 localidades del NOA. para la temperatura mínima anual y estacional.

Localidades	Anual	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO
Salta	2.6***	1.5	1.6	0.8	1.3**
La Quiaca	3.6***	2.7***	3.1***	2.3***	1.6***
S del Estero	2.0*	-0.5	0.2	1.4	1.0
Oran	3.3***	2.1**	3.4**	2.2**	1.6***
Famailla	2.3***	0.1	4.8***	2.6**	4.2***
Jujuy Aero	2.1***	2.1*	2.1	1.3	1.2*
Salta INTA	3.3***	1.8	2.4	1.6	1.7
Tartagal	3.1	6.9	5.4	7.3	5.2

Tabla 3a. Valores de la pendiente de la tendencia lineal (°C/100 años) de la temperatura máxima media mensual en 8 localidades del NOA. Valores significativos al 99 (\*\*\*) , 95(\*\*) y 90(\*) %.

Localidades	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Salta	0.2	0.6	1.5	-0.4	-4.4**	2.7	0.5	-0.4	1.5	3.6***	-0.4	0.9
La Quiaca	0.5	1.4	1.7	3.5***	1.5*	2.1**	1.7*	2.6**	1.5	2.2**	2.2*	4.1***
S del Estero	0.1	-0.6	0.7	-2.5	-3.1**	0.2	1.3	1.2	1.6	3.4***	-0.9	-1.1
Oran	-0.1	-0.9	0.4	-1.5	-4.3**	0.1	-0.5	-1.6	0.2	0.8	-1.9	-1.6
Famailla	2.0	1.6	2.3	-0.6	-3.0	0.4	-0.4	2.6	1.5	3.5*	-0.2	-1.2
Jujuy Aero	-0.2	1.1	1.4	0.4	-6.2**	4.0*	-1.7	1.3	1.0	2.6*	-0.2	-2.0
Salta INTA	-1.7	0.0	1.4	-1.1	-4.6	-3.6	-3.5	5.3***	1.9	3.3*	-0.8	2.3
Tartagal	-0.4	-1.1	-1.7	-3.8**	-6.7**	2.1	-2.4	-1.6	-0.9	0.5	-2.4	-2.0

Tabla 3b. Valores de la pendiente de la tendencia lineal (°C/100 años) de la temperatura máxima media mensual en 8 localidades del NOA para la temperatura máxima anual y estacional.

Localidades	Anual	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO
Salta	0.4	-1.0	1.3	1.5*	0.5
La Quiaca	2.1***	2.3***	2.1***	1.7**	1.5
S del Estero	1.3	-1.6	0.9	1.3	-0.2
Oran	0.1	-1.7*	-0.4	-0.4	-1.0
Famailla	0.2	-3.1	0.9	1.5	4.7*
Jujuy Aero	0.4	-0.9	1.2	0.6	-0.4
Salta INTA	-0.9	-1.9	2.2	-0.6	1.1
Tartagal	-0.9	-3.8**	2.2	-0.7	-1.4

## CONCLUSIONES

Hay un aumento generalizado de la temperatura mínima media anual, que oscila entre 2 y 3,6 °C/100 años. Las mayores tendencias corresponden a los meses de octubre y marzo. Las temperaturas máximas medias no muestran un comportamiento tan homogéneo como las mínimas. El mes de octubre tiene tendencia en aumento mientras que en mayo es en decrecimiento.

Dado que durante el mes de octubre las temperaturas mínimas y máximas registraron un aumento generalizado en la región, se puede inferir que durante este mes se produjo el máximo incremento en las temperaturas medias, lo que implica un adelanto en el inicio del período cálido estival.

El comportamiento de la temperatura en la región conlleva a diagramar las producciones fundamentalmente de acuerdo a los requerimientos térmicos de los cultivos, debido a que estos resultados podrían estar indicando un aumento en la longitud de los bioperíodos, como se ha visto en otros países.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realiza en el marco del proyecto UBACyT G078. Los autores agradecen al Servicio Meteorológico Nacional por la información brindada para realizar el trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- FERNÁNDEZ LONG M.E., BARNATÁN, I.; SERIO, L y MURPHY. G. M. 2008. Cambios en la disponibilidad térmica para los cultivos de la región pampeana argentina. *Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 28 (2-3): 111-120.
- GIORGI F. 2002. Variability and trends of sub-continental scale surface climate in the twentieth century. I. observations. *Climate Dynamics* 18: 675–691.
- HOFFMANN, J.; NÚÑEZ, S. y VARGAS. W. 1997. Temperature, humidity and precipitation variations in Argentina and the adjacent Sub-Antarctic region during the present century. *Meteorol. Z. N. F.* 6: 3-11.
- IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (Eds). IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- MINETTI, J.L., VARGAS, W.M.; POBLETE, A.G.; ACUÑA, L.R. y CASAGRANDE, G. 2003. Non linear trends and non linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera* 16: 119-135.
- NÚÑEZ, M.N.; CIAPESSONI, H.H.; ROLLA, A.; KALNAY, E. y CAI, M. 2008. Impact of land use and precipitation changes on surface temperature trends in Argentina. *Journal of Geophysical Research*, 113: 1-11.
- PASCALE, A.J. y DAMARIO, E.A. 1994. Tendencia de la amplitud térmica diaria en la Argentina desde 1901 hasta 1990. *Rev. Facultad de Agronomía UBA* 14 (2): 127-138.
- REPÚBLICA ARGENTINA. 2007. 2<sup>da</sup> Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Informe Final. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 200 p.
- RUSTICUCCI, M. and BARRUCAND, M. 2004. Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *J.Climate* 17: 4099-4107.
- Serio, L. 2006. El cambio climático global. *Rev. Facultad de Agronomía UBA* 26 (3): 275-289.

VINCENT, L.A. 2005. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960-2000. *J. Climate* 18: 5011-5023.



# **SIMULACIONES DE LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA ASOCIADA A LOS EVENTOS FRÍOS EXTREMOS EN EL SUDESTE DE SUDAMÉRICA EN UN ESCENARIO DE CLIMA FUTURO**

*Simulations of the atmospheric circulation associated with the extreme cold events in southeastern South America in a future climate scenario*

**Gabriela V. Müller<sup>1</sup>, Kelen M. Andrade<sup>2</sup>, Iracema F.A. Cavalcanti<sup>3</sup> y María Elena Fernandez Long<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Investigación Científica y de Transferencia Tecnológica a la Producción (CICYTTP-CONICET), Diamante, Argentina

<sup>2,3</sup>Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE), Brasil

<sup>4</sup>Facultad de Agronomía Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, UBA  
gabrielamuller@cicytpp.org.ar

## **RESUMEN**

Se identifica la ocurrencia de los casos extremos de incursiones de aire frío sobre el sudeste de Sudamérica en simulaciones climáticas del clima presente y futuro. Son consideradas tres áreas del sudeste de Sudamérica de 5° de latitud x 5° de longitud en regiones vulnerables a eventos fríos con un fuerte impacto en la producción agrícola. La selección considera los días con temperatura inferior a 0°C en 850 hPa, eligiendo los 5 eventos más extremos los cuales se componen para un análisis de la circulación atmosférica. Se consideran los datos diarios de reanálisis del NCEP en el período 1961-1990 (clima presente) y el modelo GFDL en la versión acoplada océano-atmósfera, tomando las salidas diarias del periodo presente y el futuro 2081-2100, para el escenario de concentraciones de gases A2.

Los resultados muestran que la configuración de los campos de presión a nivel del mar, de temperatura y viento en 850 hPa y 250 hPa, está bien simulada en el clima presente tanto para las medias como para las anomalías. En la comparación de los valores simulados para el clima presente y futuro los valores de presión simulados son del mismo orden de magnitud que las observaciones y las anomalías están bien representadas en las áreas de estudio. No obstante, las mayores anomalías se extienden hacia menores latitudes, siendo más intensas en particular para las áreas de estudio en el clima futuro. La temperatura del modelo GFDL es subestimada en relación a las del NCEP. Cuando se comparan con los valores esperados en el futuro, el GFDL del presente muestra anomalías ligeramente más intensas. En bajos niveles se observó que el viento sur es más intenso en las simulaciones del presente y aparece con una trayectoria más oceánica que en el futuro. En niveles superiores se encontró para las tres regiones que las simulaciones en el futuro presentan viento más zonal en relación al presente.

**Palabras Clave:** extremos fríos, modelos globales, clima futuro

## SUMMARY

It is identified the occurrence of extreme cold air into the south-eastern South America in climate simulations of present climate and future. It is considered three areas of southeastern South America (5°lat x 5°lon) in regions vulnerable to cold events, with a considerable impact on agricultural production. The selection of the areas take into account the days with temperatures below 0°C in the atmosphere pressure level of 850 hPa, it is selected the 5 most extreme events, which were composed for the analysis of atmospheric circulation. It is considered the daily data of the NCEP reanalysis for the period 1961-1990 (present climate) and the coupled model ocean-atmosphere GFDL, taking the daily results of present and future 2081-2100, to the sceneries of gas concentration A2.

The results show that the configuration of the fields of pressure at sea level, temperature and wind at 850 hPa and 250 hPa is well simulated in the present climate for both average and for anomalies. Comparing the values simulated of the present climate and future, the values of pressure simulated are of the same magnitude of the observations and the anomalies are well represented in the studied areas. Nevertheless, the main anomalies extend to lower latitudes, being more intense mainly in the area of study of future climate. The temperatures of the GFDL model are underestimated in relation to the NCEP. When they are compared to the values expected in the future, the GFDL shows more intense anomalies. In low level of the atmosphere, it was observed that the south wind is stronger in the simulations of the present and it comes up with a trajectory more oceanic in the future. In high level of the atmosphere it was found in the three regions that in the simulation of the future the wind is more zonal than in the present.

**Key words:** extremes of cold, global models, future climate

## INTRODUCCIÓN

El aumento de las temperaturas en el planeta y los cambios en los patrones de lluvia asociados pueden perjudicar o favorecer especialmente el desarrollo económico y social de las naciones, siendo mas vulnerables aquellas en vías de desarrollo.

Muchos trabajos han documentado las tendencias observadas en la temperatura y la precipitación extremas. Sin embargo, la gran diversidad en las metodologías empleadas en los estudios de inter-comparación y también las oscilaciones en las respuestas de los modelos inherentes a escala regional/global, tornan los resultados y análisis de las proyecciones en una difícil tarea. En un intento de minimizar esos efectos se utiliza el análisis de los índices de extremos como una posible solución, dado que permiten integrar escalas regional y global (Rusticucci et al. (2009), Marengo et al. (2009), Artaxo (2008), Nicholls y Alexander (2007), Govindasamy et al. (2003)). Estos autores también concuerdan en que las estimaciones de estos parámetros todavía son difíciles debido al alto nivel de incertidumbre de los pronósticos, principalmente por la falta de conocimiento científico sobre los procesos que regulan el sistema climático global. Además de esto, se debe tener en cuenta la dificultad en representar con fidelidad la variabilidad en los patrones futuros de las emisiones de gases de efecto invernadero, para que sea posible realizar una simulación mas próxima a la real de cómo serán los cambios de clima futuro (Artaxo, 2008).

Las proyecciones de los cambios para los extremos del clima son esenciales para evaluar los potenciales impactos de las alteraciones climáticas. En este sentido Tebaldi et al. (2007) analizan simulaciones históricas y futuras a partir de diez índices con un



ensamble con 9 Modelos de Circulación Global (MCG) para varios escenarios de emisiones del IPCC-AR4. Los extremos del clima descritos para el intervalo de diez índices de frecuencia para las ondas de calor y días de heladas, duración de sequías a grandes cantidades de precipitación, muestran que las proyecciones del modelo individual para el siglo XXI en tres escenarios analizados, están de acuerdo para extremos de temperatura y consistente con un clima más caliente.

Rusticucci et al. (2009) observaron una disminución en el número de días de heladas en la escala inter-anual para los eventos de temperaturas extremas en Sudamérica. En particular, para la región de la Pampa Húmeda Fernández Long y Müller (2006) encuentran tendencias negativas en la frecuencia anual del número de días con heladas observadas para el período 1964-2003, excepto al sur de la provincia de Buenos Aires. En concordancia con este resultado, se encontraron tendencias positivas (negativas) en la temperatura mínima anual media en aquellos lugares donde las tendencias de frecuencias de heladas fueron negativas (positivas) (Fernández Long y Müller, 2009).

Müller et al. (2009) investigan si los cambios climáticos proyectados para las décadas de fines de siglo podrían alterar la frecuencia de ocurrencia de eventos extremos fríos, definidos según la temperatura media diaria en diferentes regiones del sudeste de Sudamérica y en particular la Pampa Húmeda. Se utilizaron simulaciones de los modelos HadCM3 (Hadley Center) y una versión acoplada océano-atmósfera del GFDL (World Climate Research Programme's), para el análisis de datos diarios obtenidos de las integraciones siglo XX y SRES A2 (escenario futuro). Se realizó la validación de estos modelos aplicando los mismos criterios de identificación de los eventos en los datos de reanálisis de NCEP (1961-1990). Los resultados muestran que ambos modelos sobreestiman el número de ocurrencias de extremos fríos respecto de los reanálisis de NCEP. Si esta característica fuera proyectada a los resultados obtenidos en el futuro, que muestran una frecuencia mucho más baja en el número de eventos extremos respecto a los simulados en el período presente, se puede inferir que los eventos extremos fríos serán prácticamente inexistentes de acuerdo a estos modelos para el escenario de emisiones A2.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se consideran los datos de Reanálisis NCEP/NCAR y el modelo GFDL en la versión acoplada océano-atmósfera del World Climate Research Programme's (WCRP's) Coupled Model Intercomparison Project phase 3 (CMIP3) multi-model dataset. Los datos son diarios y comprenden los meses de mayo a septiembre para el período de referencia 1961-1990 (clima presente), y 2081-2100 para el escenario futuro SRES A2 (clima futuro). Se asume que los datos de Reanálisis representan las observaciones respecto a las que el modelo es contrastado y así validado en el período de referencia.

Las regiones de interés elegidas son las frecuentemente afectadas por heladas, y comprenden la Pampa Húmeda (33°S-38°S, 65°W-60°W), centro-norte de Uruguay y sur de Brasil (28°S-33°S, 52°W-57°W), y la región oriental de Paraguay y sur de Brasil (23°S-28°S, 52°W-57°W). Cada una de ellas ocupa un área de 5° de latitud x 5° de longitud, denominadas por simplicidad como Argentina, Uruguay y Brasil, respectivamente.

El criterio para clasificar los extremos fríos considera los días en que la temperatura media diaria en cada región fue inferior a 0°C en el nivel de 850 hPa. Este valor por ende estará suavizado y el hecho de considerar en el nivel de 850 hPa al criterio de la temperatura crítica que define las heladas en superficie, garantiza ser representativa de

un evento extremo. De este conjunto de días se seleccionan los 5 eventos más extremos en cada una de las tres regiones para el análisis de las composiciones de las distintas variables atmosféricas en cada una de dichas regiones. Una ventaja adicional al usar un nivel superior es que el efecto de la cordillera puede quedar minimizado, ya que para los modelos globales en general tienen dificultades en representarla.

## RESULTADOS

La Figura 1 muestra la composición del campo de temperatura de los 5 eventos más extremos en 850 hPa para las regiones definidas como Argentina, Uruguay y Brasil.

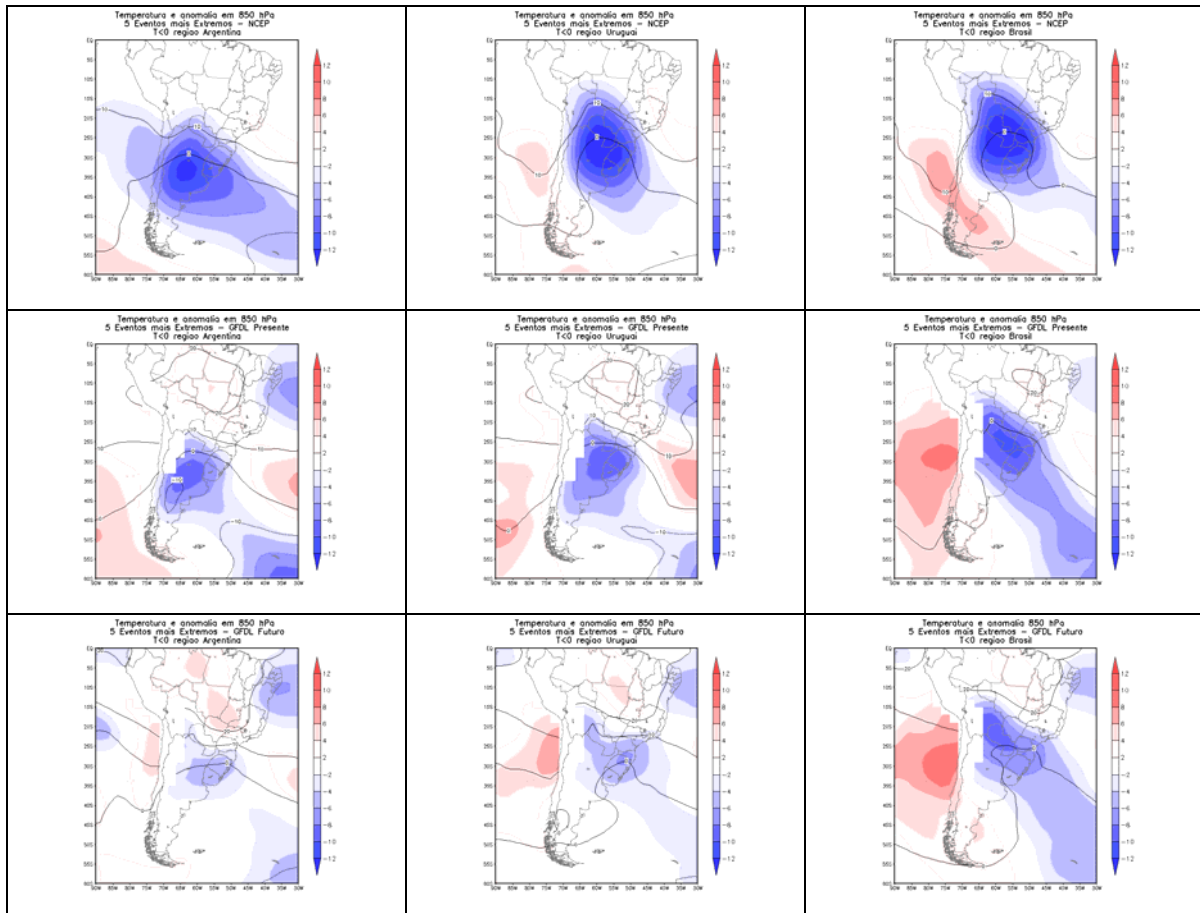


Figura 1: Temperatura y anomalía en 850 hPa para los 5 eventos más extremos con temperatura inferior a 0°C para las regiones Argentina, Uruguay y Brasil.

En relación al clima presente se observa que para todas las áreas de estudio, el GFDL subestima los valores de anomalías de temperatura con respecto al NCEP. Cuando se compara con el comportamiento esperado en el clima futuro según este escenario, el GFDL muestra en el presente anomalías ligeramente más intensas que en el futuro y la isoterma de 0°C queda confinada a mayores latitudes en este último período.

Teniendo en cuenta estos resultados para las regiones de análisis, si el modelo subestima en el presente, lo hará también para el período futuro, el que muestra valores suavizados relativos al presente, es decir que cabe esperar en las condiciones del escenario A2 que las anomalías de temperatura sean aun menores en el clima futuro.

En la Figura 2 se observa que los valores de presión simulados son del mismo orden que las observaciones y las anomalías de presión a nivel del mar (PNM) aparecen en general bien representadas en el continente.

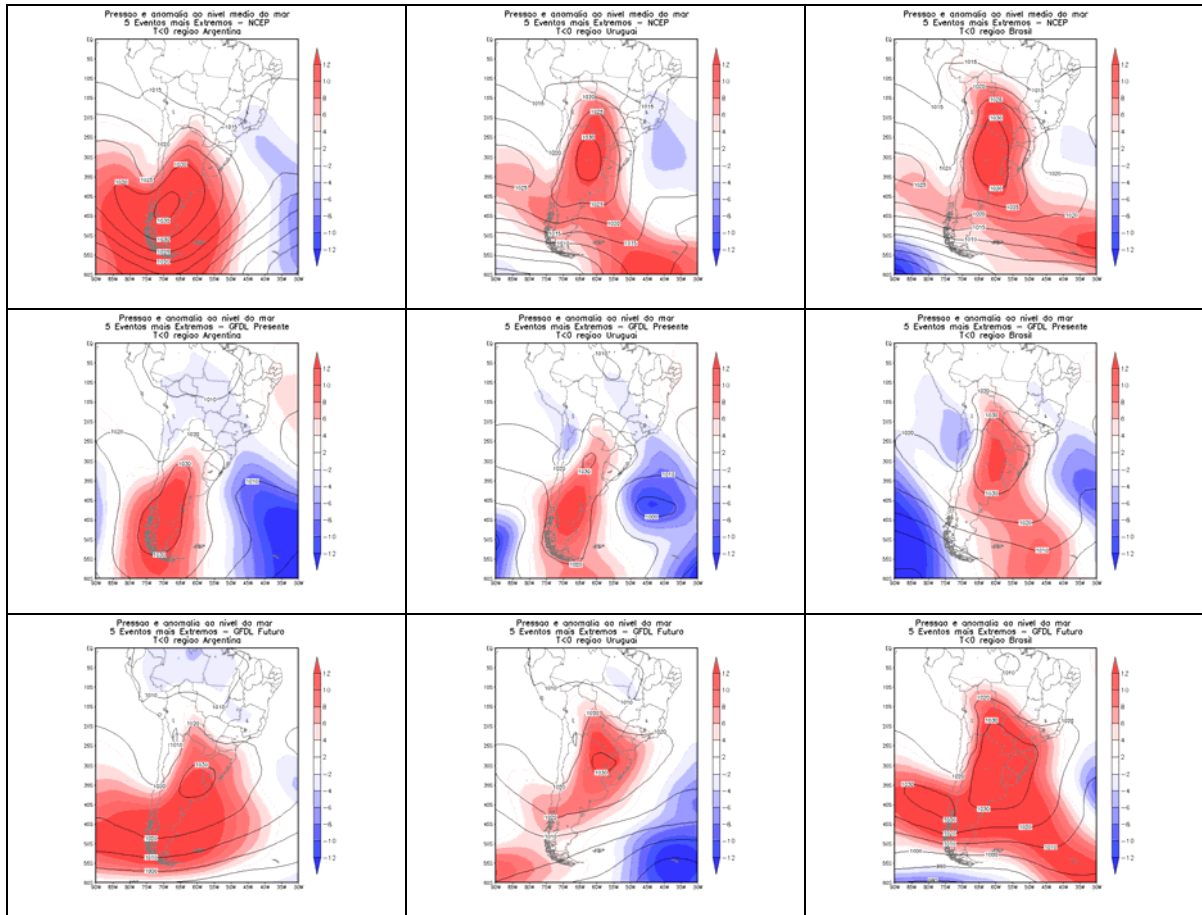


Figura 2: Presión a nivel del mar para los 5 eventos más extremos con temperatura inferior a 0°C para las regiones Argentina, Uruguay y Brasil.

La comparación de los compuestos de PNM obtenida de la simulación del GFDL entre el clima presente y futuro muestra que los valores de presión son del mismo orden para ambos períodos. En tanto, las anomalías mayores ocupan las menores latitudes en el clima futuro, siendo más intensas en particular para las áreas de estudio. Se observa que en Argentina el GFDL en el presente muestra un centro de alta presión con el núcleo de 1030 hPa que se extiende desde 55°S hasta 30°S aproximadamente, mientras en el futuro este centro se presenta restringido al centro-norte del país y parte de Uruguay. Además, la configuración meridional del anticiclón del clima presente no es observada para la composición de casos en el clima futuro. Mientras que la región de presión relativamente más baja sobre el océano Atlántico es más intensa y bien configurada en el presente, la cual hace que la alta quede más restringida al continente.

La región de Brasil es la que presenta mayor disparidad entre ambos períodos. La simulación del GFDL en el futuro presenta anomalías positivas más intensas y el centro de alta presión más extendido respecto al presente. El área de baja presión anómala sobre el océano Atlántico se encuentra desplazada hacia el este en el clima futuro y más débil en los tres casos estudiados.

El análisis en los campos de viento en 850 y 250 hPa se presenta en las Figuras 3 y 4, respectivamente.

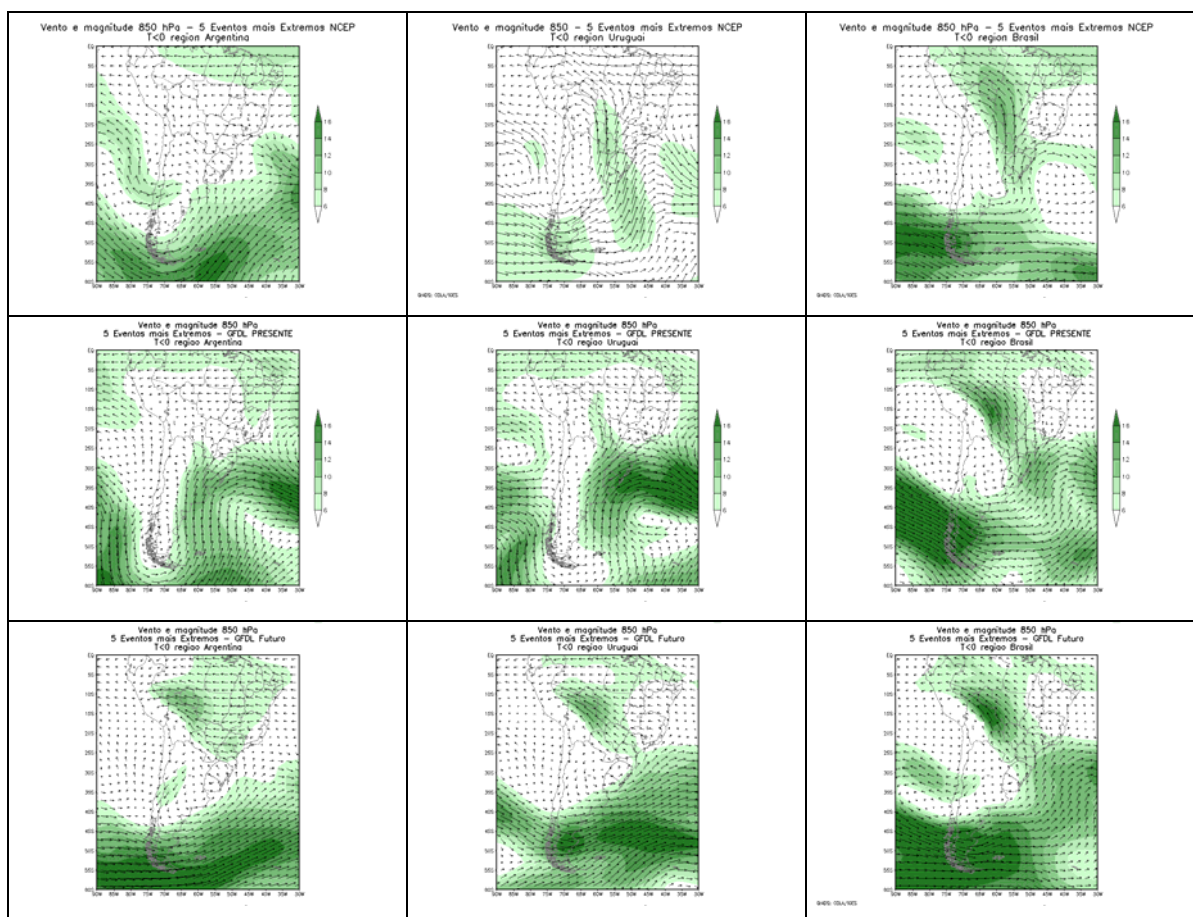


Figura 3: Viento e magnitud en 850 hPa para los 5 eventos más extremos con temperatura inferior a 0°C para las regiones Argentina, Uruguay y Brasil.

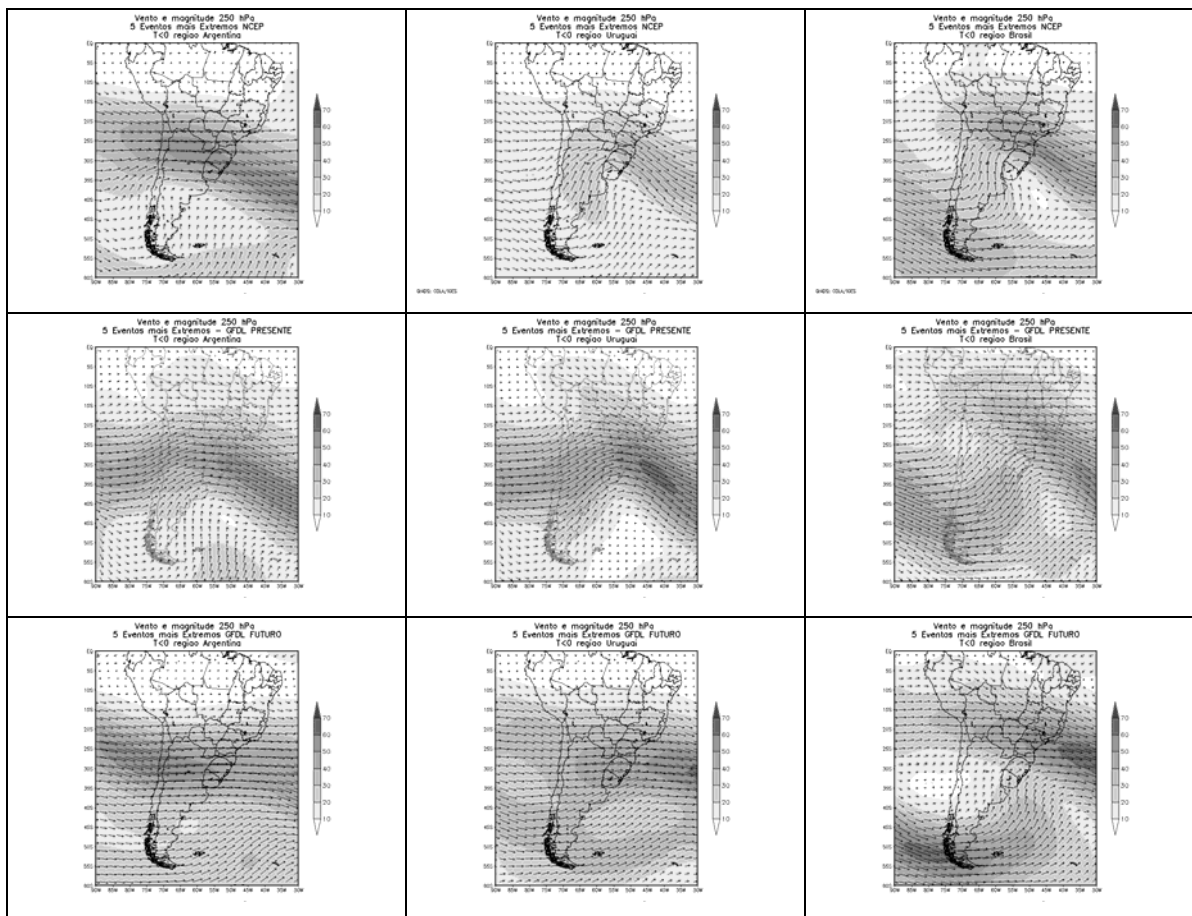


Figura 4: Viento y magnitud en 250 hPa para los 5 eventos más extremos con temperatura inferior a 0°C para las áreas de Argentina, Uruguay y Brasil.

En niveles bajos (Figura 3) y para las respectivas regiones de estudio, el modelo simula razonablemente la advección de viento con componente dominante del sur en el clima presente, aunque tiene un recorrido más oceánico. Esto podría explicar el hecho de que las temperaturas simuladas subestiman las observadas (Figura 1). En cambio la magnitud de las anomalías está sobrestimada por el modelo en el clima presente. A su vez, la magnitud del flujo del sur simulado para el clima futuro es menos intensa respecto del presente en todas las regiones de análisis.

En altos niveles la Figura 4 muestra en el clima presente el jet de altura junto a la típica vaguada a sotavento de los Andes asociados a las irrupciones de aire frío. En cambio las simulaciones en el futuro presentan un flujo más zonal en relación al presente.

### CONCLUSIONES

Se realizan composiciones a partir de los 5 eventos más extremos de temperatura inferior a 0°C en 850 hPa en tres regiones del sudeste de América del Sur, considerando datos diarios de Reanálisis del NCEP y las simulaciones del modelo GFDL en el período de referencia 1961-1990 y en el período 1981-2100 considerando el escenario A2. Inicialmente y a modo de validación fueron analizadas las características atmosféricas para el clima presente asociadas a los casos de incursiones de aire frío resultante del modelo GFDL, comparándolas con la circulación atmosférica obtenida de los Reanálisis. En general la configuración de los campos de presión a nivel del mar,

temperatura en 850 hPa y viento en 850 hPa y 250 hPa, está bien simulada por el modelo en el período presente tanto para los campos medios como para los de anomalías en cada una de las regiones de estudio.

Por su parte, las anomalías de temperatura asociada a los extremos fríos a fines de siglo simuladas por el modelo serán de menor amplitud respecto a las obtenidas para el clima presente. A juzgar por el campo de presión en superficie en el futuro las masas de aire frío asociadas a los eventos extremos tendrán una mayor penetración latitudinal con anomalías positivas extendidas sobre el continente y negativas alejadas del mismo, no presentando el típico patrón asociado a estos eventos con alta presión sobre el continente y baja presión corriente abajo sobre el océano Atlántico. Esta configuración caracteriza la advección de viento del sur en niveles bajos, observada en el clima presente y que no aparece tan definida en el clima futuro en las regiones de estudio. En niveles altos las simulaciones en el futuro presentan un flujo más zonal en relación al presente, donde aparece la típica configuración asociada a las irrupciones de aire frío con una vaguada a sotavento de la cordillera.

### **AGRADECIMENTOS**

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto CONICET (PIP-114-200801-00591) y CNPq (490466/2006-0).

### **BIBLIOGRAFÍA**

- ARTAXO, P. 2008. Mudanças climáticas globais: cenários para o planeta e a Amazônia. <http://www.mudancasclimaticas.andi.org.br/content/mudancas-climaticas-globais-cenarios-para-o-planeta-e-amazonia>.
- FERNÁNDEZ LONG, M.E. y MÜLLER, G.V. 2006. Annual And Monthly Trends In Frost Days in the Wet Pampa. *8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*. 249-253.
- FERNÁNDEZ LONG M.E. y MÜLLER, G.V. 2009. Tendencias anuales y mensuales en el número de días con heladas en la Pampa Húmeda. *I Jornadas Interdisciplinarias de la Universidad de Buenos Aires sobre el Cambio Climático y Global*. Buenos Aires, agosto de 2007:237-238.
- GOVINDASAMY, B.; DUFFY, P.B. y COQUARD, J. 2003. High-resolution simulations of global climate, part 2: effects of increased greenhouse cases. *Climate Dynamics*, 21 (5-6): 391-404.
- MARENGO, J.A; RUSTICUCCI, M.; PENALBA, O. y RENOM, M. 2009. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends. *Clim. Change* DOI 10.1007/s10584-009-9743-7.
- MÜLLER, G.V.; MARTINS ANDRADE, K.; CAVALCANTE, I.F.A. y FERNÁNDEZ LONG, M.E. 2009. Posibles efectos del cambio climático en las incursiones de aire frío sobre el sudeste de América del Sur simuladas con modelos globales. *PIUBACC*, 317-318.
- NICHOLLS, N. y ALEXANDER, L. 2007. Has the climate become more variable or extreme? 1992-2006. *Progress in Physical Geography* 31(1): 77-87.
- RUSTICUCCI, M.; MARENGO, J.; PENALBA, O. y RENOM, M. 2009. An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the XX century: part 1: mean values and variability. *Clim. Change* DOI 10.1007/s10584-009-9742-8.

TEBALDI, C.; HAOHOW, K.; ARBLASTER, J. y MEEHL, G. 2007. Going to extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Clim. Change*, 79: 185–121.





# DETECCIÓN DE CAMBIOS ABRUPTOS EN LA PRECIPITACIÓN ANUAL DEL NOROESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

*Detection of abrupt changes in annual precipitation in the Northwestern Buenos Aires Province, Argentina*

**Silvia P. Pérez; Eduardo M. Sierra; Julieta Irigoin y Marcelo J. Massobrio**

Facultad de Agronomía, UBA. Avda. San Martín 4453  
(C1417DSE) Buenos Aires, Argentina.  
perez@agro.uba.ar

## RESUMEN

El noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina se encuentra en una zona de transición entre el clima templado húmedo que se extiende hacia el este y el clima de estepa que se extiende hacia el oeste, por lo cual resulta muy sensible a los cambios abruptos en el régimen de precipitaciones. Con el objeto de detectar la ocurrencia de este tipo de fenómenos se analizaron series de precipitación anual de larga duración de 10 localidades de la zona de estudio, utilizando las pruebas estadísticas de Pettitt, de Lee Heghinian y la Segmentación de Hubert. Los resultados indicaron un incremento abrupto de la precipitación entre 1960 y 1980, con un umbral de significación variable de una localidad a otra. El incremento de las precipitaciones puede considerarse una de las causas que explican la expansión del área sembrada con cultivos que tuvo lugar en los años posteriores al fenómeno. Si bien un aumento rápido puede verse como un hecho favorable, debe tenerse en cuenta que existen trabajos de investigación que consideran la posibilidad de que se produzca una disminución del régimen de lluvias que, en caso de producirse en forma abrupta, no daría el tiempo suficiente como para poner en marcha medidas adaptativas eficientes.

**Palabras clave:** serie climática; discontinuidad temporal; métodos estadísticos.

## SUMMARY

Northwestern Buenos Aires Province, Argentina lays in a transition zone between the moderate humid climate that it spreads eastward and the steppe climate that spreads towards the west, for which turns out to be very sensitive to the abrupt changes in the rainfall regime. In order to detect the occurrence of this type of phenomena, series of annual rainfall of long duration of 10 localities in the zone of study, were analyzed using the statistical tests of Pettitt, of Lee Heghinian and Hubert's Segmentation. The results indicated an abrupt increase of the rainfall between 1960 and 1980, with statistical significance levels changing from one locality to another. The increase of the rainfalls can be considered to be one of the reasons that explain the expansion of the growing crop area that took place in the following years. Though a rapid increase can turn as a favorable fact, it must be born in mind that some papers consider the possibility of a decrease in the rainfalls regime that, in case of taking place in abrupt form, it would not have time as to take efficient adaptative measures.

**Key words:** climate series, temporary discontinuity; statistical methods

## INTRODUCCIÓN

La existencia de cambios abruptos en las series históricas de precipitación ha sido detectada en diversas áreas geográficas. Narisma *et al.*, (2007) identificaron unas 30 regiones en el mundo con cambios abruptos en la precipitación durante el siglo XX, y señalaron que estas regiones están principalmente localizadas en regiones semiáridas y áridas.

En este sentido, en África, Paturel *et al.*, (1996), Paturel *et al.*, (1998), Servat *et al.*, (1999), L'Hôte *et al.*, (2002), Paturel *et al.*, (2004), Meddi y Meddi, (2007) han puesto en evidencia la presencia de cierto número de discontinuidades en las series correspondientes a incrementos (principio de los años 1920 y fines de los años 1940) o a disminuciones (fin de los años 1930 y fin de los años 1960) de las medias anuales.

Vivès y Jones (2005) en Australia, detectaron tres cambios climáticos producidos en el período 1890-1989. El más significativo fue el incremento de la precipitación, a finales de los años 1940 en el este australiano. Los otros dos cambios consistieron en dos disminuciones consecutivas de las precipitaciones en el oeste australiano, la primera producida a mediados de los años 1890, y la segunda a fines de los años 1960.

Asimismo, al sur del paralelo de 15°S, en Sudamérica, Minetti y Vargas (1997) analizaron cambios en series de precipitación anual de largo período encontrando un comportamiento en forma de salto o discontinuidad positiva o creciente, durante las décadas de 1950 y 1960, al este de la Cordillera de los Andes y tendencias negativas al oeste de la misma.

Si bien Minetti y Vargas (1997) abordaron el tema de los cambios abruptos a nivel continental, incluyendo Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Paraguay, se carece de información zonal a nivel de pradera pampeana, siendo ésta la región de mayor productividad agropecuaria de la Argentina.

El noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, se encuentra en una zona de transición entre el clima templado húmedo, que se extiende hacia el este, clima C según la clasificación de Köppen modificada por Trewartha (Köppen, 1948; Trewartha, 1968) y el clima de estepa, que se extiende hacia el oeste, que se corresponde con un clima BS según la misma clasificación.

Debido al alto impacto que poseen los cambios de precipitación sobre la actividad agropecuaria de la zona (Viglizzo *et al.*, 1995), la detección de los mismos es un requisito imprescindible para adecuar los esquemas de uso de la tierra de manera que una excesiva presión productiva no exceda la capacidad de carga del ambiente causando un deterioro ambiental (Kessler, 1994).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, el objetivo de este trabajo es detectar la existencia de cambios abruptos en la precipitación. Para ello se estudiaron las series de precipitación anual del noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se utilizaron datos de precipitación anual de larga duración de 10 localidades del noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Tabla 1), provenientes de los archivos del Servicio Meteorológico Nacional Argentino. La homogeneidad de los registros originales fue comprobada por medio de la prueba de rachas o de la alternancia (Thom, 1966) y fue considerada aceptable en todos los casos (para el nivel de significación  $\alpha = 0,01$  ocho series resultaron homogéneas  $|Z| \leq 2,58$  y para el nivel de significación  $\alpha = 0,05$  dos series resultaron homogéneas  $|Z| < 1,96$ )

Tabla 1. Ubicación de las localidades. Prueba de homogeneidad de rachas (Z).

Localidad	Latitud (S)	Longitud (W)	Altura (msnm)	Z
Carlos Casares	35° 32'	61° 20'	82	-2,36
Carlos Tejedor	35° 25'	62° 25'	102	-1,93
Gral. Pinto	34° 45'	61° 50'	181	-2,44
Gral. Villegas	35° 01'	62° 59'	16	-2,30
Guamini	37° 02'	62° 25'	95	-2,58
Pehuajo	35° 48'	61° 54'	85	-1,29
Pellegrini	36° 16'	63° 07'	105	-2,43
Rivadavia	35° 29'	62° 59'	102	-2,57
Salliqueló	36° 45'	62° 55'	120	-2,38
Trenque Lauquen	35° 56'	62° 43'	81	-2,57

Para detectar cambios abruptos en las series de precipitación anual se utilizaron tres métodos estadísticos: la prueba de Pettitt (1979), el método bayesiano propuesto por Lee y Heghinian (1977) y el método de segmentación de series hidrometeorológicas de Hubert *et al.*, (1989).

### Prueba de Pettitt

La prueba de Pettitt es una prueba no-paramétrica derivada de la prueba de Mann-Whitney. La ausencia de un punto de cambio en la serie ( $x_i$ ) de tamaño N constituye la hipótesis nula. Se define la variable  $U_{t,N}$

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N \text{sgn}(x_i - x_j)$$

$$\text{donde } \begin{aligned} \text{sgn}(x_i - x_j) &= 1 && \text{si } (x_i - x_j) > 0 \\ \text{sgn}(x_i - x_j) &= 0 && \text{si } (x_i - x_j) = 0 \\ \text{sgn}(x_i - x_j) &= -1 && \text{si } (x_i - x_j) < 0 \end{aligned}$$

La hipótesis nula fue testeada utilizando el estadístico  $K_N$  definido por el máximo valor absoluto de  $U_{t,N}$  para t variando de 1 a N-1.

A partir de la teoría de rangos, Pettitt demuestra que si k representa el valor de  $K_N$  de la serie de estudio, bajo la hipótesis nula, la probabilidad de superar el valor k esta dada aproximadamente por:

$$\text{Prob}(K_N > k) \approx 2 \exp[-6k^2 / (N^3 - N^2)]$$

Para un nivel de significación  $\alpha$ , si la probabilidad estimada es inferior a  $\alpha$ , la hipótesis nula es rechazada. La serie entonces comporta un punto de cambio localizado en el momento  $\tau$  donde es observado  $K_N$ .

### Método Bayesiano de Lee y Heghinian

Partiendo de la hipótesis que un cambio en la media está presente en la serie, el método calcula la probabilidad que ese cambio tenga lugar en un momento dado, y determina la fecha  $t$  para la cual la probabilidad de realización del cambio es máxima.

Dada la serie de  $n$  valores de la variable  $X$ :  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , la cual está compuesta de dos partes ( $X_1, X_2, \dots, X_\tau$ ) y ( $X_{\tau+1}, \dots, X_n$ ) cuyas medias respectivas son  $\mu$  y  $\mu + \delta$ .

El modelo representando la estructura de la secuencia  $X_1, X_2, \dots, X_n$  está dado por:

$$x_i = \begin{cases} \mu + \varepsilon_i & i = 1, 2, \dots, \tau \\ \mu + \delta + \varepsilon_i & i = \tau + 1, \dots, n \end{cases}$$

Donde  $\varepsilon_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ), son independientes y normalmente distribuidos, de media nula y varianza  $\sigma^2$ .

Las variables independientes  $\tau, \mu, \delta$ , y  $\sigma$  del modelo (1), Lee y Heghinian, (1977) dan la función de densidad de probabilidad *a posteriori* de  $\tau$ :

$$f(\tau | x_1, \dots, x_n) \propto [n / \tau (n - \tau)]^{1/2} [R(\tau)]^{-(n-2)/2}, \tau \in \{1, 2, \dots, n-1\}$$

Donde :

$$R(\tau) = \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (x_i - \bar{x}_\tau)^2 + \sum_{i=\tau+1}^n (x_i - \bar{x}_{n-\tau})^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2 \right]^{-1}$$

$\bar{y}, \bar{x}_\tau, \bar{x}_{n-\tau}, \bar{x}_n$  representan respectivamente las medias de las primeras  $\tau$  observaciones, de las últimas  $n - \tau$  observaciones y de la serie entera.

El examen de la distribución discreta  $f(\tau | x_1, \dots, x_n)$  permite identificar la fecha correspondiente de la máxima probabilidad de cambio en la media. La distribución *a posteriori* de  $\delta$  puede ser utilizada para estimar el nivel de cambio en la media. Lee y Heghinian, (1977) han demostrado que la distribución condicional *a posteriori*  $f(\delta | \tau, x_1, \dots, x_n)$  de  $\delta$ , dado  $\tau$ , es una distribución no central de Student con una media  $\mu_\tau(\delta)$ , una varianza  $\sigma_\tau^2(\delta)$  y  $(n - 2)$  grados de libertad.

La expresión práctica de  $f(\delta | \tau, x_1, \dots, x_n)$  puede ser deducida de la distribución de Student no centrada como indica Epstein (1985):

$$f(\delta | \tau, x_1, \dots, x_n) = [(n-2)^{-1/2} / \sigma_\tau(\delta) B(1/2, n-2/2)] [1 + (\delta - \mu_\tau(\delta)) / (n-2) \sigma_\tau^2(\delta)]^{-(n-1)/2}$$

Donde  $B(x, y)$  es la función beta definida por  $B(x, y) = \Gamma(x) \Gamma(y) / \Gamma(x + y)$ . Las estimaciones de la media y de la variancia de la distribución  $f(\delta | \tau, x_1, \dots, x_n)$  están dadas por:

$$\hat{\mu}_\tau(\delta) = \bar{x}_{n-\tau} - \bar{x}_\tau \quad \text{y} \quad \hat{\sigma}_\tau^2(\delta) = [n R(\tau) / \tau (n-\tau) (n-2)] \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2$$

El nivel de significación de la amplitud puede ser estimado utilizando el intervalo de confianza bayesiano  $C_{1-\alpha}(\delta) = [a, b]$  que representan los valores que puede tomar la amplitud del cambio a un nivel de confianza  $100(1 - \alpha)\%$ . Una expresión de este intervalo simétrico ha sido propuesta por Berger (1985).

$$\Pr | a \leq \delta \leq b | = \int_a^b f(\delta | \tau, x_1, \dots, x_n) d\delta = 1 - \alpha$$

o  $\Pr \{ \delta \leq a \} = \Pr \{ \delta \geq b \} = \alpha / 2$

Y donde  $f( \delta | x_1, \dots, x_n )$  es la distribución condicional a *posteriori* de  $\delta$  obtenida como una media ponderada de distribución de Student (Lee y Heghinian, 1977).

$$f( \delta | x_1, \dots, x_n ) = \sum_{\tau=1}^{n-1} f( \delta | \tau, x_1, \dots, x_n ) * f( \tau | x_1, \dots, x_n )$$

**Método de Segmentación de Series Hidrometeorológicas de Hubert**

Este método divide la serie en m segmentos (m>1) de forma tal que la media calculada sobre todo el segmento sea significativamente diferente de la media del o de los segmentos vecinos.

La segmentación es definida de la siguiente manera

Toda serie  $x_i, i = i_1, i_2$  con  $i_1 \geq 1$  e  $i_2 \leq N$  donde ( $i_1 < i_2$ ) constituye un segmento de la serie inicial de los ( $x_i$ ),  $I = 1, \dots, N$

Toda partición de la serie inicial en m segmentos es una segmentación de orden m de esta serie. A partir de una segmentación particular de orden m realizada sobre la serie inicial, se define:

$$i_k, k = 1, 2, \dots, m$$

$$n_k = i_k - i_{k-1}$$

$$\bar{x}_k = [ \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} x_i ] / n_k$$

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \quad \text{con} \quad d_k = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} (\bar{x}_i - \bar{x}_k)^2$$

La segmentación obtenida debe ser tal que para un orden m de segmentos dados, la desviación estándar  $D_m$  sea mínima. Esta condición es necesaria pero no suficiente para la determinación de la segmentación óptima. Es necesario tener en cuenta que las medias de dos segmentos contiguos deben ser significativamente diferentes. Esta limitación se satisface por aplicación de la prueba de Scheffé. (Dagnélie, 1970).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Dado que la prueba de Lee y Heghinian (1977) asume que los datos están normalmente distribuidos, la series empleadas en el estudio fueron sometidas a la prueba de Kolmogorov-Smirnov, pudiendo comprobarse que la totalidad de las mismas se ajustan a una distribución normal.

Los resultados obtenidos al aplicar las pruebas estadísticas de Pettitt (1979), Lee y Heghinian (1977) y Hubert *et al.*, (1989) sobre las 10 localidades estudiadas (Tabla 2) indicaron un incremento abrupto de la precipitación anual entre 1960 y 1980, con un umbral de significación variable de una localidad a otra. Estos resultados confirman el incremento pluviométrico a partir de los años 1960, y la continuación del mismo durante los años 1970-1980.

Para la serie de precipitación anual Zonal el punto de cambio se observó, según la prueba de Lee y Heghinian (1977) (Figura 1) y la segmentación de Hubert *et al.*, (1989), en el año 1968. Hasta ese año el promedio de la precipitación anual fue de 763.8 mm en tanto que para el período 1969-2007 el valor pasó a ser de 956.2 mm (Figura 2).

Tabla 2. Pruebas estadísticas de cambios abruptos en las series de precipitación anual del noroeste de la provincia de Buenos Aires.

Localidad	Período de observación	Prueba de Pettitt	Prueba de Lee Héghinia	Segmentación de Hubert	Promedio anterior al cambio	Promedio posterior al cambio	Diferencia en %
Carlos Casares	1918-2005	1965	1965	1965	786.8	963.8	18.4
Carlos Tejedor	1918-2005	1967	1967	1967	790.4	944.3	16.3
Gral. Pinto	1926-2007	1970	1970	1974	830.9	1107.3	25.0
Gral. Villegas	1898-2007	1968	1968	1968	758.4	934.6	18.9
Guamini	1910-2004	1962	1962	1962	715.0	935.1	23.5
Pehuajo	1918-2005	1965	1965	1965	820.3	977.5	16.1
Pellegrini	1948-2003	1971	1971	1971	620.9	881.6	29.6
Rivadavia	1918-2005	1971	1971	1967	694.7	991.9	30.0
Salliqueló	1939-2003	1979	1982	1982	689.1	971.1	29.0
Trenque							
Lauquen	1918-2005	1962	1962	1983	859.1	1059.1	18.9
Zonal	1898-2007	1962	1968	1968	763.8	956.2	20.1

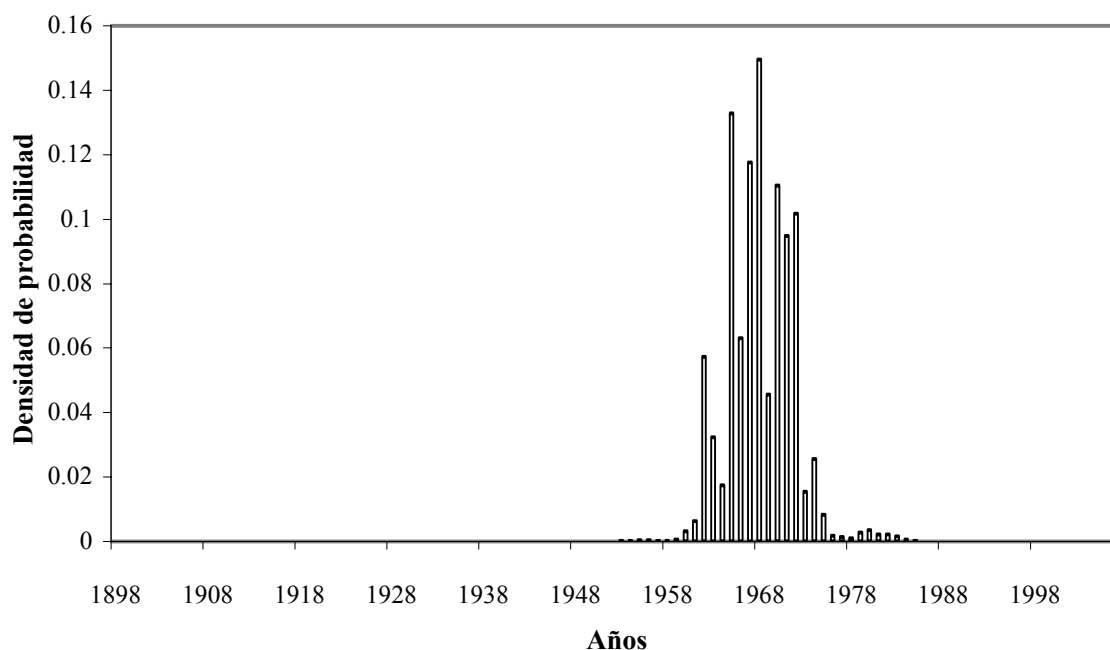


Figura 1. Densidad de probabilidad (Lee y Heghinian, 1977) para la precipitación anual Zonal.

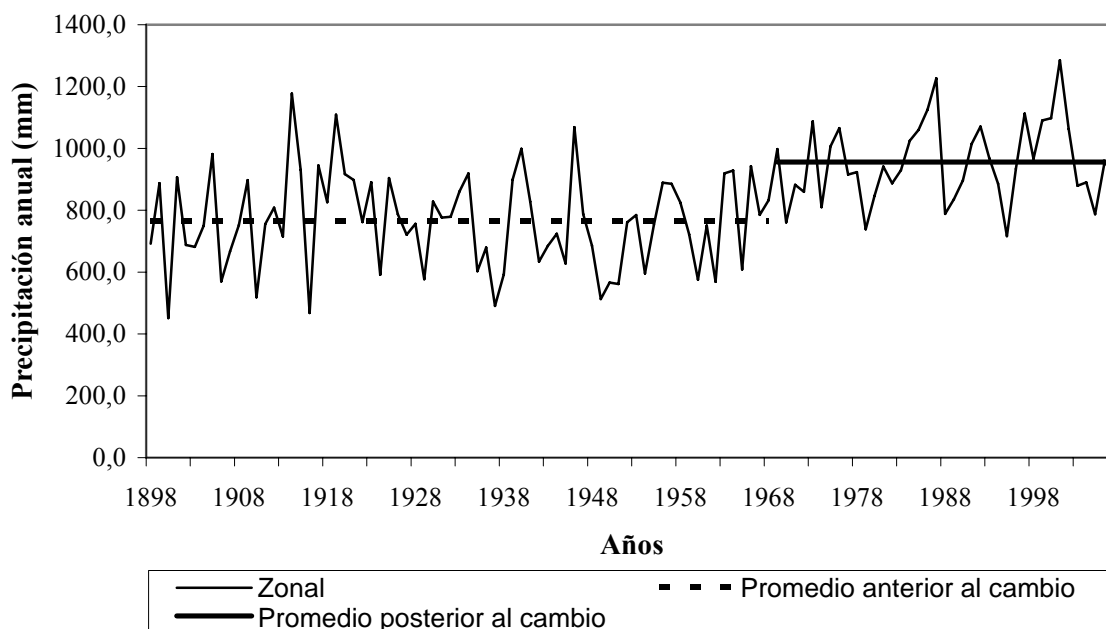


Figura 2. Precipitación anual Zonal, promedio anual anterior y posterior al cambio.

### CONCLUSIONES

Los resultados permiten concluir que en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, se produjo un cambio abrupto en el régimen de precipitación anual, que tuvo lugar entre 1960 y 1980, con un umbral de significación variable de una localidad a otra. Para el análisis Zonal de la precipitación anual, el cambio tuvo lugar en el año 1968, llevando los valores desde 763.8 mm para el subperíodo 1898-1968, hasta 956.2 mm durante el subperíodo 1969-2007.

El incremento de las precipitaciones puede considerarse una de las causas que explican la expansión del área sembrada con cultivos que tuvo lugar, en el oeste de la provincia de Buenos Aires, en los años posteriores al fenómeno. Si bien un aumento rápido puede verse como un hecho favorable, debe tenerse en cuenta que existen trabajos de investigación que consideran la posibilidad de que se produzca una disminución del régimen de lluvias que, en caso de producirse en forma abrupta, no daría el tiempo suficiente como para poner en marcha medidas adaptativas eficientes.

### BIBLIOGRAFÍA

- BERGER, J.O. 1985. *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis*. Berlin, Springer.
- DAGNÉLIE, P. 1970. *Théorie et Méthodes Statistiques*. Vol 2. *Les presses agronomiques de Gembloux*, 451 pp.
- EPSTEIN, E.S. 1985. *Statistical inference and prediction in climatology: A Bayesian approach*, Meteorological Monographs. American Meteorological Society.

- HUBERT, P.; CARBONNEL, J.P. y CHAOUCHÉ, A. 1989. Segmentation des séries hydrométéorologiques: application à des séries de précipitation et de débits de l'Afrique de l'Ouest. *J Hidrol.* 110: 349-367.
- KÖPPEN, W. 1948. *Climatología*. Fondo de Cultura Económica. México, 478 pp.
- KESSLER, J.J. 1994. Usefulness of the human carrying capacity concept in assessing ecological sustainability of land-use in semi-arid regions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 48 (3): 273-284.
- LEE, A.S.F. y HEGHINIAN, S.M. 1977. A shift of the Mean Level in a Sequence of Independent Normal Random Variables: A Bayesian Approach. *Technometrics* 19 (4): 503-506.
- L'HÔTE, Y.; MAHÉ, G. ; SOMÉ, B. y TRIBOULET, J.P. 2002. Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continue. *Hydrological Sciences - Journal des Sciences Hydrologiques* 47 (4): 563-572.
- MEDDI, H. y MEDDI M. 2007. Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du nord-ouest de l'Algérie. *Geographia Technica* 2: 49-55.
- MINETTI, J.L. y VARGAS, W. 1997. Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15°S. *Atmósfera* 11: 205-221.
- NARISMA, F.T.; FOLEY, J.A.; LICKER, R. y RAMANKUTTY, N. 2007. Abrupt changes in rainfall during the twentieth century. *Geophysical Research Letters* 34: 1-5.
- PATUREL, J.E.; SERVAT, E.; KOUAME, B.; BOYER, J.F.; LUBES NIEL, H. y MASSON, J.M. 1996. Procédure d'identification de "ruptures" dans des séries chronologiques – modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahélienne. *IAHS Publ.* N°238: 99-110.
- PATUREL, J.E.; SERVAT, E. y DELATTRE, M.O. 1998. Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Hydrological Sciences - Journal des Sciences Hydrologiques* 43 (6): 937-946.
- PATUREL, J.E.; BOUBACAR, I. y AOUR, A. 2004. Evolution de la pluviométrie annuelle en Afrique de l'Ouest et Centrale au XX siècle. *Sud Sciences & Technologies* 12: 40-46.
- PETTITT, A.N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *App. Statist* 28 (2): 126-135.
- SERVAT, E.; PATUREL, J.E.; LUBES-NIEL, H.; KOUAME, B.; MASSON, J.M.; TRAVAGLIO, M. y MARIEU, B. 1999. De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. *Revue des Sciences de l'eau* 12 (2): 363-387.
- THOM, H.C.S. 1966. Some Methods of Climatological Analysis. WMO Tech. Note N°81. Geneva: World Meteorological Organization, 53 pp.
- TREWARTHA, G.T. 1968. *An introduction to climate*, Fourth Edition. Mc Graw-Hill, New York, 408 pp.
- VIGLIZZO, E.F.; ROBERTO Z.E.; FILIPPIN, M.C. y PORDOMINGO, A.J. 1995. Climate variability and agroecological change in the Central Pampas of Argentina. *Agriculture Ecosystems and Environment* 55: 7-16.
- VIVÈS, B. y JONES. R.N. 2005. Detection of abrupt changes in Australian decadal rainfall (1890-1989). Atmospheric Research CSIRO Atmospheric Research Technical Paper N°73, 58 pp.



# VARIABILIDAD INTERDECÁDICA DE EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA EN ARGENTINA

## *Interdecadal Variability of Temperature Extreme Events in Argentina*

**Bárbara Tencer\***<sup>1,2</sup> y **Matilde Rusticucci**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Extremos Climáticos en Sudamérica, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina / CONICET, Argentina

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, UBA  
Ciudad Universitaria - Pabellón II - 2° piso  
(1428) Buenos Aires, Argentina

\*btencer@at.fcen.uba.ar

### RESUMEN

La frecuencia de ocurrencia de los eventos extremos de temperatura ha sufrido cambios en todo el mundo durante el último siglo: se observan tendencias significativas positivas en el porcentaje de noches cálidas y negativas en el porcentaje de noches frías. En Argentina, la probabilidad de ocurrencia de los extremos cálidos anuales de la temperatura máxima disminuyó en las últimas décadas, mientras que aumentó en la temperatura mínima. El objetivo de este trabajo es evaluar los cambios observados en los eventos de temperatura que superan un umbral fijo en Argentina durante el período 1941-2000, utilizando la Teoría de Valores Extremos. La disponibilidad de datos diarios permite el ajuste de la distribución *Generalized Pareto (GP)* a los días con anomalías de temperatura por encima del percentil 95, y la estimación de los valores de retorno. Un valor de retorno se supera, en promedio, una vez cada  $p$  años. Sin embargo, esta afirmación sólo es válida bajo la suposición de un proceso estacionario, y no se cumple ante la presencia de saltos climáticos o tendencias de largo plazo. Es por ello que en este trabajo se dividen las series de anomalías diarias de temperatura en tres sub-períodos consecutivos de 20 años, se ajusta la distribución GP a los tres sub-períodos en forma independiente, y se comparan los valores de retorno estimados a partir de cada ajuste. Los resultados muestran que hay una disminución en la intensidad de los eventos extremos cálidos, acompañada por un aumento en la frecuencia de ocurrencia de los mismos.

**Palabras clave:** eventos extremos de temperatura, distribución generalizada pareto, valores de retorno.

### SUMMARY

The frequency of occurrence of temperature extreme events has changed throughout the last century: significant positive trends in warm nights and negative trends in cold nights have been observed all over the world. In Argentina, the probability of occurrence of warm annual extremes of maximum temperature has decreased in the last decades, while there has been an increase of warm annual extremes of minimum temperature. The main objective of this report is to evaluate observed changes in temperature events that exceed a fixed threshold in Argentina over the period 1941-

2000, by applying the Extreme Value Theory. The availability of daily data allows to fit a Generalized Pareto Distribution (GPD) to daily temperature anomalies over the 95<sup>th</sup> percentile followed by the estimation of return values. A return value associated with a return period  $p$  is a value that is exceeded, on average, once every  $p$  years. However, this statement is only true under the assumption of a stationary process and is not valid in the presence of climatic shifts or long term trends. Therefore, in this paper daily temperature anomalies are divided in three consecutive and non-overlapping subperiods of 20 years. GPD is fitted to each subperiod independently and a comparison is made between return values estimated in each subperiod. Results show that there is a decrease in the intensity of warm extreme events, together with an increase in its frequency of occurrence.

**Key words:** temperature extreme events, generalized pareto distribution, return values

## INTRODUCCIÓN

Los eventos extremos del tiempo y del clima influyen severamente sobre los ecosistemas y la sociedad. En particular, los extremos en la temperatura pueden afectar severamente la agricultura (muchos cultivos se ven afectados por la cantidad de días con heladas por año), la salud humana (la ola de calor que afectó Europa en 2003 causó entre 22000 y 35000 muertes según Schär y Jendritzky, 2004), la demanda de energía, los recursos hídricos y la disponibilidad de agua potable, entre otros. Ante un cambio climático, una pequeña variación en los valores medios de temperatura puede ocasionar grandes cambios en las temperaturas extremas diarias (Katz y Brown, 1992). Si estos extremos persisten durante un tiempo prolongado, pueden ser todavía más dañinos.

El estudio de valores históricos ha mostrado que la persistencia e intensidad de valores extremos de temperatura ha ido cambiando en los últimos años en todo el mundo (Trenberth et al., 2007). En Argentina, la temperatura mínima media de verano muestra un fuerte aumento en la segunda mitad del siglo XX, mientras que la temperatura máxima media de verano muestra una disminución en el norte del país y un aumento en el sur (Rusticucci y Barrucand, 2004), llevando así a una disminución en la amplitud térmica en el sector norte. En cuanto a los extremos, se encontraron tendencias negativas en la cantidad de noches frías y de días cálidos en verano, mientras que la cantidad de noches cálidas y días fríos aumentó en la segunda mitad del siglo XX en algunas regiones del país. En Rusticucci y Tencer (2008) se estudió el comportamiento de los extremos anuales absolutos de la temperatura mínima y máxima y se encontró que la probabilidad de ocurrencia de los extremos cálidos anuales de la temperatura máxima disminuyó en las últimas décadas, mientras que aumentó en la temperatura mínima. Los cambios en las temperaturas extremas que se pueden presentar ante un aumento de CO<sub>2</sub> pueden ocasionar impactos severos, especialmente si no se está preparado para ellos. Por lo tanto, es esencial el conocimiento del comportamiento de los extremos climáticos de la región, para estimar cómo pueden cambiar y cuál es la incertidumbre inherente a las proyecciones futuras.

Los eventos extremos pueden ser definidos de diversas formas. En general, se entiende por evento extremo un evento *raro*, desde el punto de vista de su frecuencia, en una determinada región. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, según sus siglas en inglés) en su informe de 2007 define como extremos todos aquellos eventos que sean *raros* para un determinado lugar y momento del año. Las definiciones de raro varían, pero en general se entiende por evento extremo un evento tan raro (o

más) como el percentil 10 o el percentil 90 de la función de densidad de probabilidad observada. Es decir, un evento extremo es aquél que ocurre menos del 10% de las veces (IPCC, 2007). Así, los eventos de temperatura que superen el percentil 90 serán considerados por el IPCC como eventos extremos cálidos y los eventos de temperatura que se encuentren por debajo del percentil 10 como eventos extremos fríos. Si se quiere estudiar eventos aún más extremos, basta con considerar percentiles más altos para los extremos cálidos y más bajos para los extremos fríos, como pueden ser los percentiles 95 y 5, respectivamente.

Los eventos extremos definidos de esta forma se basan en su frecuencia de ocurrencia. Sin embargo, podemos utilizar definiciones basadas en la magnitud, en la duración o en el impacto del evento. Por ejemplo, podemos considerar como evento extremo frío de temperatura mínima todos aquellos valores inferiores a 0°C ya que en general estos eventos dan lugar a heladas y por lo tanto son de interés para la agricultura. También podemos considerar como evento extremo de precipitación todos aquellos valores de precipitación diaria que superen una determinada cantidad de milímetros caídos en el día. O podemos definir que más de 30 días consecutivos sin precipitación representa un evento extremo llamado sequía. En todos estos casos, los umbrales definidos *a priori* dependerán de la región y el período del año que estemos estudiando.

En este trabajo nos proponemos estudiar la variabilidad interdecádica de los eventos extremos cálidos de temperatura en Argentina, entendiendo por extremo todos aquellos valores que superen el percentil 95. Para ello, utilizamos la Teoría de Valores Extremos para estimar los valores de retorno de los extremos y analizar los cambios en los mismos a lo largo del período 1941-2000. Un valor de retorno es un valor que se espera sea superado en promedio una vez cada  $p$  años, donde  $p$  es el período de retorno. Es decir, los períodos de retorno nos dan información sobre la frecuencia de ocurrencia de los valores de retorno: un aumento en los valores de retorno representa un aumento en la frecuencia de ocurrencia de los eventos extremos estudiados.

En particular, en este trabajo se utiliza la distribución Generalized Pareto (GP), perteneciente a la Teoría de Valores Extremos, que nos permite modelar estadísticamente los eventos que superan cierto umbral fijo (en este caso, el percentil 95) a partir de los datos diarios observados.

## **MATERIALES Y METODOS**

En este trabajo se utilizaron datos diarios de temperatura mínima y máxima en cinco estaciones meteorológicas de Argentina, pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional, en el período 1941-2000: San Miguel de Tucumán, Tucumán (TUC, 26.80°S, 65.20°W); Observatorio Central Buenos Aires, Buenos Aires (OBA, 34.58°S, 58.48°W); Pergamino, Buenos Aires (PGM, 33.93°S, 60.55°W); Pilar, Córdoba (PIL, 31.66°S, 63.88°W); Santa Rosa, La Pampa (SRS, 36.56°S, 64.26°W). Ver Figura 1.

A cada serie de temperatura se le sustrajo la onda anual media calculada sobre el período 1961-1990 para obtener series diarias de anomalías. Además, dado que la temperatura diaria no puede considerarse una serie de datos independientes, se filtró la serie de anomalías diarias, tomando el mayor de cada 5 valores consecutivos (Jones *et al.*, 1999).

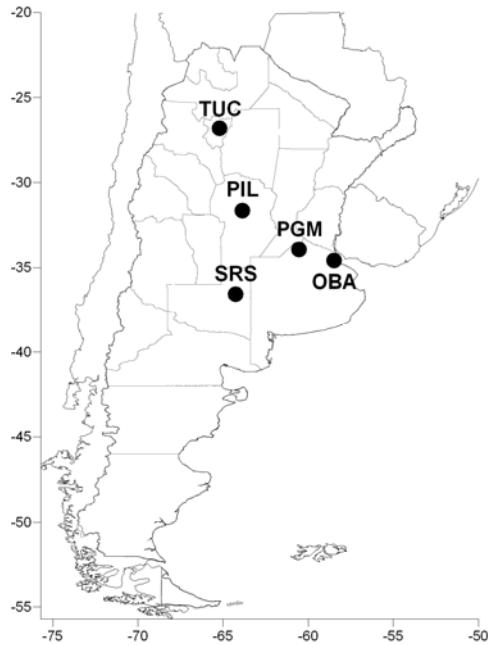


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en el trabajo.

De esta forma se generaron las series HTn y HTx, correspondientes a series independientes de anomalías de temperatura mínima y máxima, respectivamente, que se utilizaron para el estudio de los extremos cálidos de ambas variables. Luego se dividió la serie completa del período 1941-2000 en tres sub-períodos no superpuestos y consecutivos de 20 años cada uno: 1941-1960, 1961-1980 y 1981-2000, y se eliminó la tendencia lineal en cada sub-período, en caso de que la misma fuera significativa con un 95% de confianza.

A cada uno de los sub-períodos se le ajustó la distribución GP utilizando el método de máxima verosimilitud y tomando como umbral ( $u$ ) el percentil 95 de cada serie. La función de distribución GP para la variable aleatoria  $X$  tiene la siguiente forma (Coles, 2001):

$$H(y) = 1 - \left(1 + \frac{\xi y}{\tilde{\sigma}}\right)^{-1/\xi}$$

con  $y = X - u$ . Esta función de distribución es condicional a  $X > u$  y sólo está definida para el conjunto  $\{y : y > 0 \wedge (1 + \xi y/\tilde{\sigma}) > 0\}$  con  $\tilde{\sigma} = \sigma + \xi(u - \mu)$ , donde  $\mu$  es el parámetro de posición,  $\sigma$  el parámetro de escala y  $\xi$  el parámetro de forma.

Por último, se estimaron los valores de retorno y su intervalo de 95% de confianza, basados en la distribución GP ajustada en cada sub-período.

## RESULTADOS

Con el objetivo de estudiar la variabilidad observada en la intensidad de los eventos extremos de temperatura se comparan los umbrales obtenidos en los distintos sub-períodos. En la Figura 2 se puede ver la evolución temporal de los umbrales de la variable HTn para las distintas estaciones meteorológicas estudiadas.

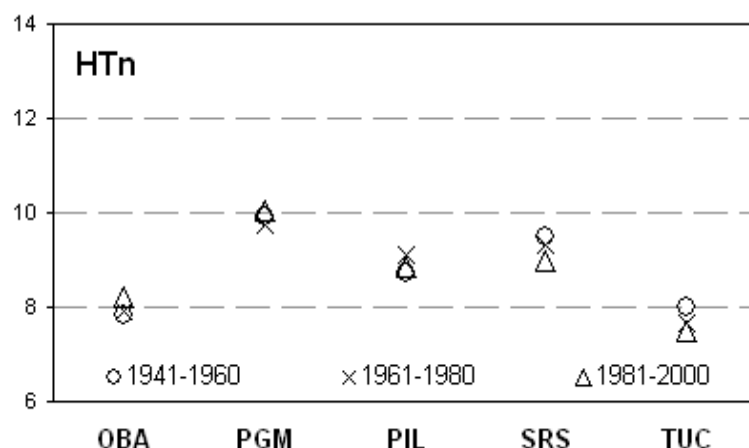


Figura 2. Umbrales de HTn (en °C) para los distintos sub-períodos y estaciones meteorológicas estudiados.

Como puede observarse, no hay cambios importantes en el valor del umbral, es decir, en el valor del percentil 95 de la serie de anomalías de temperatura mínima. Sin embargo, en el caso de la temperatura máxima (Figura 3) se observa que el umbral disminuye de un período a otro en forma sucesiva, encontrándose diferencias de hasta 4°C en el percentil 95 calculado en el primer y último período. Esto indica una disminución en la intensidad de los eventos extremos cálidos de la temperatura máxima en el período 1941-2000.

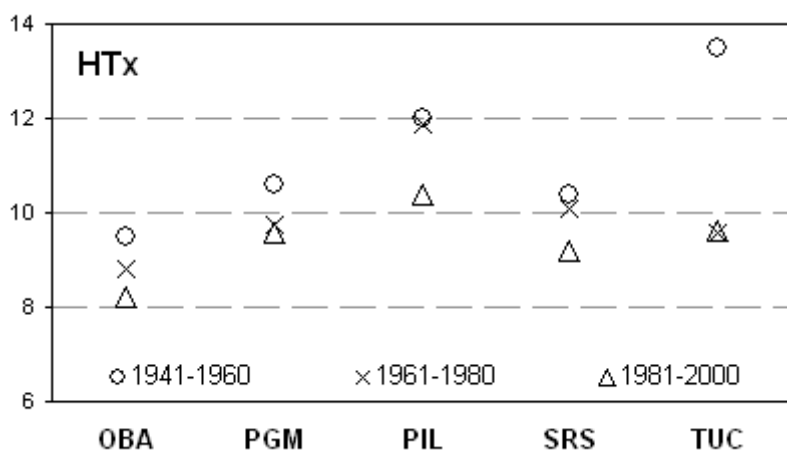


Figura 3. Umbrales de HTx (en °C) para los distintos sub-períodos y estaciones meteorológicas estudiadas.

Por otro lado, la comparación de los valores de retorno estimados a partir de la distribución GP ajustada a cada sub-período nos permite evaluar la variabilidad interdecádica en la frecuencia de ocurrencia de los eventos extremos. En las Figuras 4 y 5 se muestra la evolución del valor de retorno de 30 años a lo largo de los tres sub-períodos estudiados para cada estación meteorológica para las variables HTn y HTx, respectivamente.

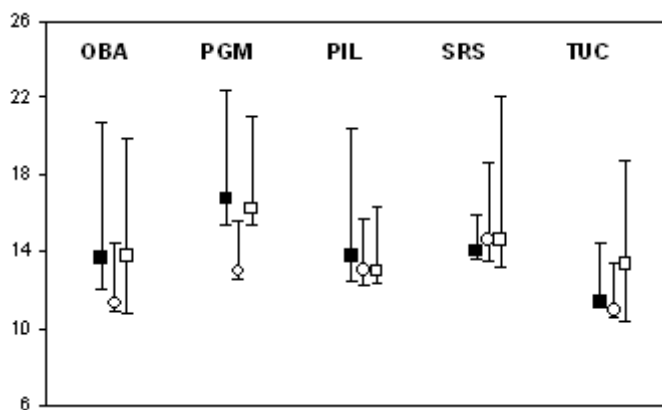


Figura 4. Valores de retorno (en °C) de 30 años para HTn para las distintas estaciones meteorológicas estudiadas y los distintos sub-períodos (1941-1960 en cuadrado lleno, 1961-1980 en círculo vacío, 1981-2000 en cuadrado vacío). Las barras indican el intervalo de 95% de confianza en la estimación del valor de retorno.

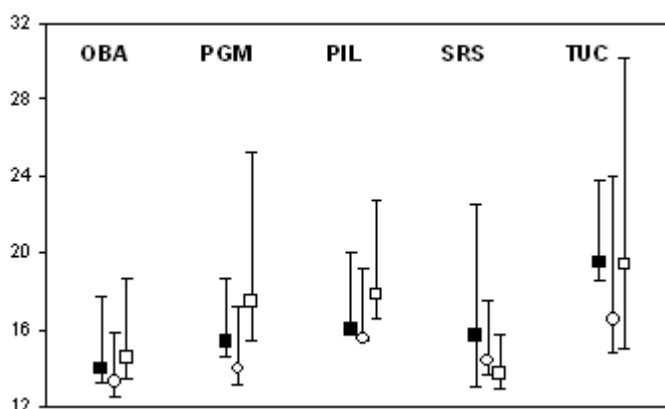


Figura 5. Valores de retorno (en °C) de 30 años para HTx para las distintas estaciones meteorológicas estudiadas y los distintos sub-períodos (1941-1960 en cuadrado lleno, 1961-1980 en círculo vacío, 1981-2000 en cuadrado vacío). Las barras indican el intervalo de 95% de confianza en la estimación del valor de retorno.

En ambas variables se puede observar una disminución del valor de retorno de 30 años entre el primer sub-período estudiado (1941-1960) y el segundo (1961-1980) en todas las estaciones, excepto en SRS en el caso de HTn. Esta disminución en el valor de retorno está asociada a una disminución de la frecuencia de ocurrencia de los eventos extremos cálidos de temperatura. Sin embargo, al analizar los cambios en el valor de retorno de 30 años entre el segundo y el tercer sub-período (1981-2000), se observa un aumento asociado a un aumento en la frecuencia de ocurrencia de los extremos. Este aumento es más notorio en la HTx, con excepción de SRS.

Al analizar el comportamiento de otros valores de retorno de entre 2 y 100 años se observó el mismo patrón de cambios entre los distintos subperíodos.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ajustó la distribución GP a las anomalías diarias de temperatura mínima y máxima observadas en cinco estaciones de Argentina en el período 1941-2000. El ajuste se hizo por sub-períodos (1941-1960, 1961-1980, 1981-2000) con el objetivo de analizar la variabilidad interdecádica en la intensidad y la frecuencia de ocurrencia de los extremos cálidos de temperatura.

El análisis de la evolución temporal de los umbrales (percentil 95) utilizados para el ajuste de la distribución GP indica que la intensidad de los eventos extremos cálidos de la temperatura máxima disminuye, mientras que en la temperatura mínima esta disminución no se observa.

Los cambios en los valores de retorno estimados a partir de los distintos ajustes muestra que la frecuencia de ocurrencia de los eventos extremos cálidos de las temperaturas mínima y máxima disminuye del período 1941-1960 a 1961-1980, pero aumenta en los últimos 20 años.

### **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos UBACYT X170, ANPCYT BID 1728/OC-AR PICT 38273, y el proyecto del Programa Marco 7 de la Comunidad Europea CLARIS LPB-A Europe-South America Network for Climate Change Assessment and Impact Studies in La Plata Basin.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- COLES, S. 2001. An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. *Springer Series in Statistics*, 208 pp.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- JONES, P.D.; HORTON, E.B.; FOLLAND, C.K.; HULME, M.; PARKER, D.E. y BASNETT, T.A. 1999. The use of indices to identify changes in climatic extremes. *Climatic Change*, 42(1):131-149.
- KATZ, R.W. y BROWN, B.G. 1992. Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. *Climatic Change*, 21: 289-302.
- RUSTICUCCI, M. y BARRUCAND, M. 2004. Changes in temperature extremes over Argentina. *J. Climate*, 17: 4099-4107.
- RUSTICUCCI, M. y TENCER, B. 2008. Observed Changes in Return Values of Annual Temperature Extremes over Argentina. *J. Climate*, 21: 5455-5467.
- SCHÄR, C. y JENDRITZKY, G. 2004. Hot news from summer 2003. *Nature*, 432: 559-560.
- TRENBERTH, K.E. y JONES, P.D. 2007. Observations: Surface and atmospheric climate change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, S. Solomon et al., Eds., *Cambridge University Press*, 235-336.





# CAMBIOS EN EL CLIMA DE ALTAS LATITUDES DURANTE EL ÚLTIMO SIGLO: ANÁLISIS DE LA SERIE DE TEMPERATURA DE ORCADAS

*Changes in high latitude climate in the last century: analysis of the temperature series from Orcadas*

**Natalia Zazulie\* y Matilde Rusticucci**

Laboratorio de Extremos Climáticos, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, Universidad de Buenos Aires.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Dirección postal: Intendente Güiraldes 2160 - Ciudad Universitaria,

Pabellón II, 2do piso - C1428EGA.

\*nzazulie@at.fcen.uba.ar

## RESUMEN

La estación meteorológica de las Islas Orcadas del Sur es la más antigua ubicada en la región antártica, con un record superior a 100 años de datos diarios (1903-2008). La importancia de esta estación radica en que ninguna otra de latitudes tan altas del hemisferio sur cuenta con datos tan antiguos que nos permitan conocer la variabilidad del clima desde principios del siglo XX. Para este trabajo se digitalizaron los datos diarios de temperatura para el período 1903-1950. Se analizaron tanto los valores medios como los extremos para las distintas épocas del año.

Las tendencias halladas en esta estación se encuentran entre las más grandes encontradas en cualquier otro lugar del planeta durante el siglo XX. Se encontraron tendencias positivas significativas en las cuatro estaciones del año desde 1950. En particular, para el otoño e invierno, el calentamiento en los extremos fríos (los percentiles 10 y 5) excede a los aumentos en los valores medios o en los extremos cálidos, lo que indica cambios en la circulación distintos para la estación fría en la Antártida. Los aumentos en verano se intensifican a partir de 1970, lo cual sugiere una contribución de la influencia del mínimo de ozono en la circulación de altas latitudes. Sin embargo, se encontraron tendencias positivas significativas en primavera y verano, previo al desarrollo del agujero de ozono. Esto último implica que otros factores podrían estar influenciando el clima de estas latitudes como por ejemplo el aumento de los gases de efecto invernadero durante el último siglo.

**Palabras clave:** altas latitudes, temperatura, Orcadas.

## SUMMARY

The meteorological station of Islas Orcadas del Sur is the first one in the Antarctic region with a record of daily data from more than 100 years (1903-2008). The importance of this station is that no other high latitude station has such a long record to study climate variability since the beginning of twentieth century. The data for the period 1903-1950 has been digitalized for this study. Mean values and extremes were analyzed for different seasons.

The observed warming trends are among the largest found anywhere on Earth during the twentieth century. Significant positive trends were found for all seasons since

1950. Particularly in fall and winter, the warming of the cold extremes (coldest 5% and coldest 10% of days) substantially exceeds the warming of the mean or of the warmest days, providing a key indicator for cold season Antarctic climate change studies. Trends in the summer season means and extremes since 1970 are approximately twice as large as those observed earlier, supporting suggestions of additional regional warming in that season due to the effects of ozone depletion on the circulation. Further, in the spring and summer seasons, significant mean warming also occurred prior to the development of the Antarctic ozone hole (i.e., 1950-1970), supporting an important role for climate changes due to processes other than ozone depletion, such as greenhouse gas increases.

**Key words:** high latitudes, temperature, Orcadas.

## INTRODUCCIÓN

La estación meteorológica de las Islas Orcadas del Sur es la más antigua ubicada en la región antártica con un record superior a 100 años de datos diarios (1903-2008). La importancia de esta estación radica en que ninguna otra de latitudes tan altas del hemisferio sur cuenta con datos tan antiguos que nos permitan conocer la variabilidad del clima desde principios del siglo XX.

Por otro lado, la Antártida es una de las regiones más sensibles al cambio climático. El continente antártico ha sufrido un calentamiento al oeste de la región, y un enfriamiento en algunas estaciones del año en el este de la región (Comiso 2000; Turner *et al.* 2005; Marshall *et al.* 2006, Marshall 2007; Chapman y Walsh 2007). Las diferencias en las tendencias se deben al aumento observado, en las últimas décadas, en los vientos del oeste que rodean el polo sur, que a su vez está asociado con la disminución del ozono estratosférico y el aumento de los gases de efecto invernadero (Thompson y Solomon 2002; Gillett y Thompson 2003; Marshall *et al.* 2004; Arblaster y Meehl 2006; Cai y Cowan 2007).

El estudio de los extremos de temperatura resulta de importancia ya que éstos podrían tener impacto en un gran número de aspectos climáticos, como retroceso de glaciares, el hielo en el mar y la cobertura de nieve, así como los efectos ecológicos en la flora y la fauna polar (Vaughan *et al.* 2001). El hecho de tener más de un siglo de observaciones diarias permite explorar con detalle cambios en los extremos que no son posibles con series de datos mensuales.

El objetivo de este trabajo es analizar la serie de temperatura de las Islas Orcadas del Sur, que es el registro más largo de observaciones de temperatura diaria en la región Antártica.

## MATERIALES Y METODOS

Las islas Orcadas del Sur se ubican en 60° 44' Sur y 44 °44' Oeste (Figura1). La estación comenzó a realizar mediciones meteorológicas y geomagnéticas cuando, en 1903, una expedición escocesa llegó a las islas. Un año después, tras un acuerdo con el gobierno nacional, las islas pasaron a ser argentinas. La estación cuenta con datos diarios de diversas variables meteorológicas. Este estudio se centra en el análisis de la temperatura diaria. Para ello se digitalizaron los datos correspondientes al período 1903-1950, ya que se encontraban únicamente en papel.

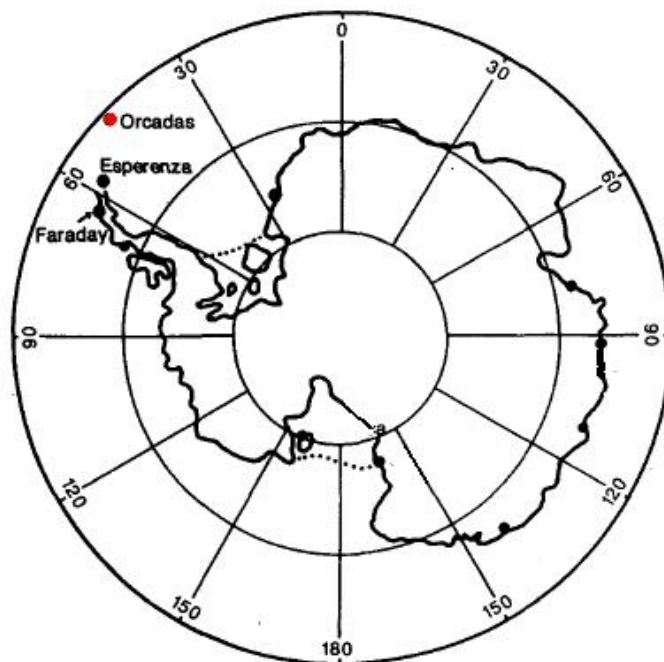


Figura 1: Ubicación de la estación Orcadas en rojo.

Los datos en papel y los datos en formato digital (de 1957 a 2008) fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional.

Desde 1903 a 1950, se reportaban observaciones horarias y las medias diarias fueron calculadas como promedio sobre las 24 observaciones, mientras que a partir de 1950 las medias diarias fueron construidas a través de las observaciones de temperatura máxima y temperatura mínima diaria  $[(T_{max}+T_{min})/2]$ . La compatibilidad de estas dos formas de calcular la media diaria en el análisis de tendencias fue mostrada en estudios previos (Karl *et al.* 1993). Además, como la temperatura cambia muy poco a lo largo del día típico en Antártida debido a la insolación solar constante y, en particular en Orcadas, debido como consecuencia de a la influencia oceánica, el cambio es despreciable en esta estación.

Para estudiar los extremos de temperatura se calcularon los percentiles 5, 10, 90 y 95 por estación y, para el verano, se calculó la frecuencia porcentual de días por encima o por debajo de un umbral.

## RESULTADOS

### Onda anual en distintos períodos

Los cambios en la temperatura de una estación pueden tener mayor importancia en algunas épocas del año que en otras. Esto se refleja en la onda anual de temperatura. Con el objetivo de estudiar los cambios en la onda anual y los cambios en la duración de las estaciones, se calculó la onda anual promedio cada 20 años (Figura 2). Se observa un

fuerte calentamiento desde fines de la primavera hasta principios del otoño (noviembre a marzo), particularmente desde la década de 1980.

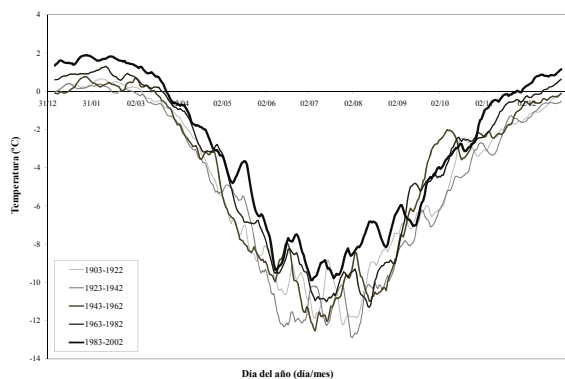


Figura 2. Onda anual de temperatura promediada cada 20 años desde 1903 a 2002. Se aplicó un filtro de 10 días.

Por otro lado, aumentó sustancialmente la duración de la época del año en la cual la temperatura supera los 0°C, y esto tiene especial importancia para la formación y derretimiento de los hielos en la región. El último período, entre 1983 y 2002, resultó ser el más cálido durante casi todo el año.

### **Tendencias en medias y extremos durante el siglo 20**

En la tabla 1 se muestran las tendencias de los valores medios estaciones y los extremos (percentiles 95, 90, 10 y 5). Estas tendencias se encuentran entre las más grandes encontradas en cualquier otro lugar del planeta durante el siglo 20XX. Se observan tendencias significativas en todas las estaciones del año para el período completo, tanto para las temperaturas medias como para los extremos fríos y cálidos (excepto para los extremos fríos en primavera).

### **Cambios en extremos de temperatura en verano**

En la Figura 3, se muestra la distribución de frecuencias de la temperatura diaria en verano en los mismos períodos de 20 años que en la Figura 2. Si bien la forma de la distribución se mantuvo constante en esta estación, las temperaturas medias se corrieron hacia valores más cálidos en las últimas décadas. También se observan importantes cambios en los extremos fríos y cálidos, consistente con las tendencias halladas en los percentiles 95, 90, 10 y 5.

Tabla 1. Tendencias ( $^{\circ}\text{C}/10$  años) de temperatura observada en Orcadas para las distintas estaciones del año y en distintos períodos. Los números en negrita representan tendencias significativas con 95% de confianza, y se indica el valor de la desviación estándar por dos. P95 y P90 corresponden al 5 y 10% de los días más cálidos, respectivamente, mientras que P5 y P10 representan a los extremos fríos.

		1903-2007	2 $\sigma$	1957-2007	2 $\sigma$	1903-1970	2 $\sigma$
VERANO	media	<b>0.18</b>	0.04	<b>0.20</b>	0.11	<b>0.10</b>	0.08
	P95	<b>0.21</b>	0.05	<b>0.25</b>	0.13	<b>0.11</b>	0.09
	P90	<b>0.19</b>	0.04	<b>0.23</b>	0.11	<b>0.11</b>	0.08
	P10	<b>0.19</b>	0.05	<b>0.21</b>	0.15	<b>0.12</b>	0.10
	P5	<b>0.21</b>	0.06	<b>0.23</b>	0.18	<b>0.13</b>	0.12
OTOÑO	media	<b>0.22</b>	0.10	<b>0.29</b>	0.29	0.12	0.22
	P95	<b>0.13</b>	0.05	0.15	0.16	0.07	0.08
	P90	<b>0.12</b>	0.04	<b>0.15</b>	0.15	0.07	0.08
	P10	<b>0.47</b>	0.26	0.53	0.66	0.29	0.55
	P5	<b>0.53</b>	0.28	0.47	0.74	0.39	0.59
INVIERNO	media	<b>0.23</b>	0.15	0.35	0.39	0.14	0.32
	P95	<b>0.09</b>	0.05	<b>0.19</b>	0.16	0.05	0.11
	P90	<b>0.09</b>	0.07	<b>0.22</b>	0.17	0.03	0.14
	P10	<b>0.36</b>	0.19	0.15	0.55	<b>0.41</b>	0.38
	P5	<b>0.33</b>	0.20	0.14	0.61	<b>0.41</b>	0.36
PRIMAVERA	media	<b>0.17</b>	0.09	-0.01	0.26	<b>0.24</b>	0.18
	P95	<b>0.20</b>	0.04	0.05	0.13	<b>0.21</b>	0.08
	P90	<b>0.18</b>	0.04	0.07	0.13	<b>0.17</b>	0.07
	P10	0.22	0.22	-0.26	0.59	0.47	0.47
	P5	0.23	0.25	-0.35	0.67	0.49	0.52

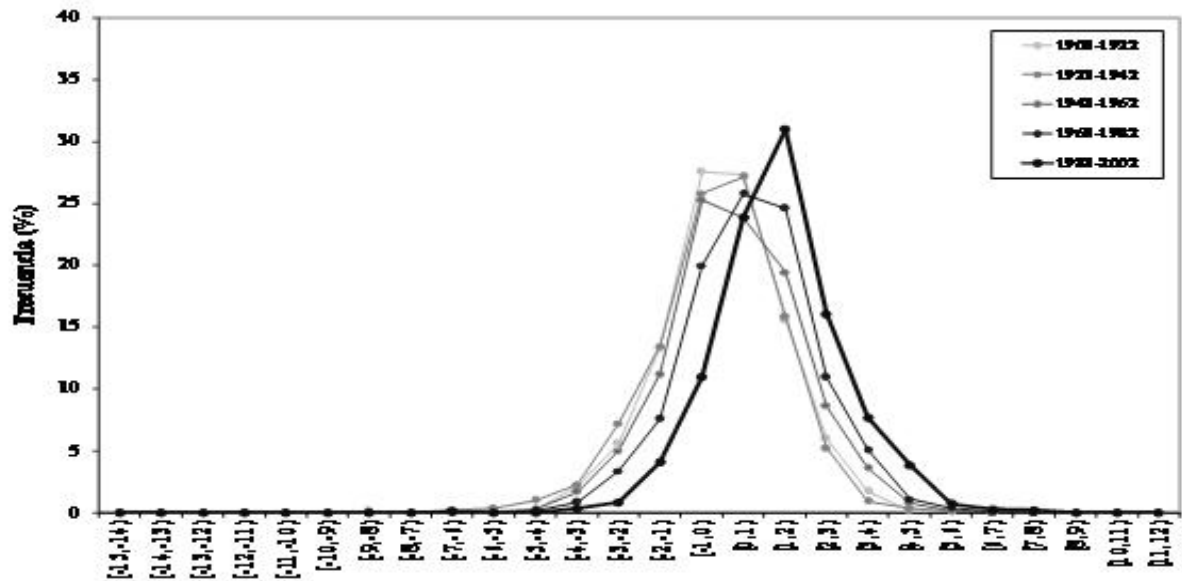


Figura 3. Distribución de frecuencias de datos diarios de temperatura observada en verano (diciembre, enero y febrero) para los períodos de 20 años. Se utilizaron intervalos de 1°C. También se muestra la circulación para los días más extremos (fríos y cálidos): altura geopotencial en 850 hPa para los días más fríos y más cálidos del período 1995-99.

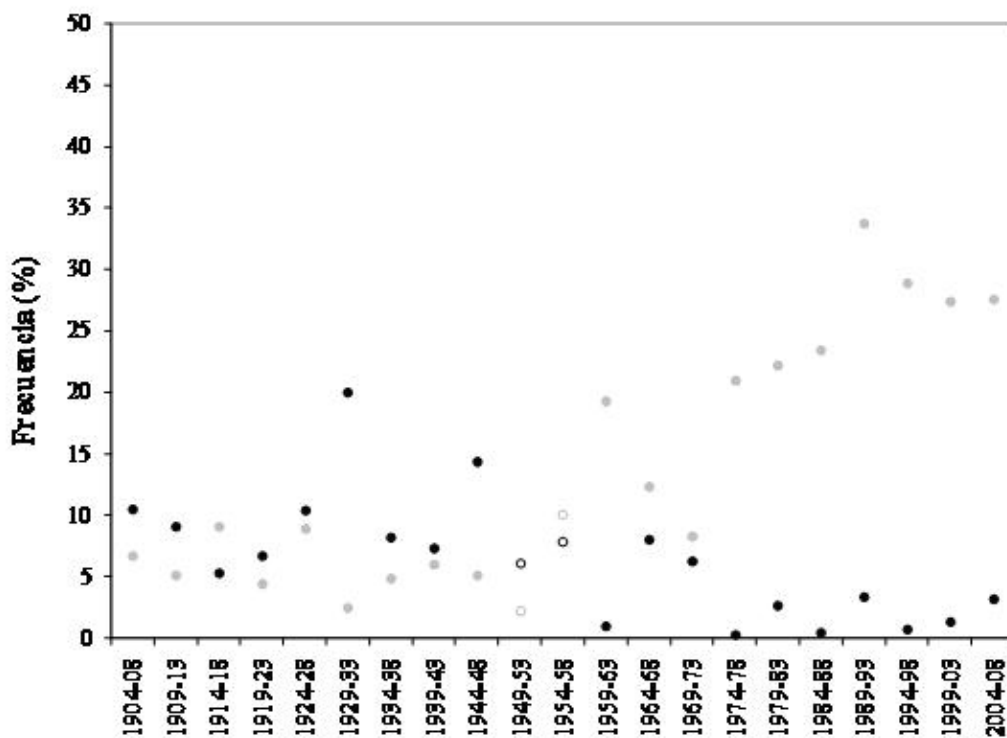


Figura 4. Porcentajes de días cálidos (temperatura > 2°C) en gris, y de días fríos (temperatura < -2°C) en negro agrupados cada 5 años para el verano.

Por otro lado, tal como se muestra en la Figura 4, se estudiaron los extremos en verano como frecuencia de temperaturas que excedieron valores fijos (-2 y 2°C) que se eligieron tras inspeccionar la distribución de temperaturas (ver Figura 3). Los valores se expresan en porcentajes para poder comparar períodos con distinta cantidad de observaciones producto de datos faltantes. Se agruparon los porcentajes de días con temperatura por encima de los umbrales mencionados, en diciembre, enero y febrero, en períodos de 5 años. Se observa un pronunciado aumento en la frecuencia de ocurrencia de temperaturas por encima de 2°C en las últimas décadas, mientras que los extremos fríos (temperaturas < -2°C) han prácticamente desaparecido en el mismo período.

## CONCLUSIONES

El calentamiento en los extremos fríos (los percentiles 10 y 5) excede a los aumentos en los valores medios o en los extremos cálidos, lo que indica cambios en la circulación distintos para la estación fría en Antártida.

Los aumentos en verano se intensifican a partir de 1970, lo cual sugiere una contribución de la influencia del mínimo de ozono en la circulación de altas latitudes. Sin embargo, se encontraron tendencias positivas significativas en primavera y verano, previo al desarrollo del agujero de ozono. Esto último implica que otros factores podrían estar influenciando el clima de estas latitudes como, por ejemplo, el aumento de los gases de efecto invernadero durante el último siglo, aunque también hay que considerar la variabilidad interna para explicar alguno de estos cambios.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos UBA X170, PICT05 38273-ANPCYT y por Chemical Sciences Division (CSD) of the NOAA Earth System Research Laboratory (ERSL), a través de la estadia de Natalia Zazulie en sus laboratorios de Boulder, Colorado, Estados Unidos. Las autoras agradecen al Servicio Meteorológico Nacional por los datos provistos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARBLASTER, J.M. y MEEHL, G.A. 2006. Contributions of external forcings to the Southern Annular Mode trends. *J. Clim.* 19: 2896–2905.
- CAI, W. y COWAN, T. 2007. Trends in Southern Hemisphere circulation in IPCC AR4 models over 1950–99: Ozone depletion versus greenhouse forcing. *J. Clim.* 20: 681–693.
- CHAPMAN, W.L. y WALSH, J.E. 2007. A synthesis of Antarctic temperatures. *J. Clim.* 20: 4096-4117.
- COMISO, J. 2000. Variability and Trends in Antarctic Surface Temperatures from In Situ and Satellite Infrared Measurements. *J. Clim.* 13:1674-1696.
- GILLET, N. y THOMPSON, D.W.J. 2003. Simulation of recent southern hemisphere climate change. *Science* 302: 273-275.
- KALNAY, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K.C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; Jenne, R. y Joseph, D. 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year. Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 77: 437-471.
- KARL, T.R.; JONES, P.D.; KNIGHT, R.W.; KUKLA, G.; PLUMMER, N.; RAZUVAYEV, V.; GALLO, K.P.; LINDSEAY, J.; CHARLSON R.J. y

- PETERSON, T.C. 1993. A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Am. Met. Soc.* 74: 1007-1023.
- MARSHALL, G.J.; STOTT, P.A.; TURNER, J.; CONNELLEY, W.M.; KING J.C. y LACHLAN-COPE, T.A. 2004. Causes of exceptional atmospheric circulation changes in the southern hemisphere. *Geophys. Res. Lett.* 31, L14205.
- MARSHALL, G.J.; ORR, A.; VAN LIPZIG N.P.M. y KING, J.C. 2006. The Impact of a Changing Southern Hemisphere Annular Mode on Antarctic Peninsula Summer Temperatures. *J. Clim* 19: 5388–5404.
- MARSHALL, G.J. 2007. Half-century seasonal relationships between the Southern Annular Mode and Antarctic temperatures. *Int. J. Clim.* 27: 373–383.
- THOMPSON, D.W.J. y SOLOMON, S. 2002. Interpretation of recent southern hemisphere climate change. *Science* 296: 895-899.
- TURNER, J.; COLWELL, S.R.; MARSHALL, G.J.; LACHLAN-COPE, T.A.; CARLETON, A.M.; JONES, P.D.; LAGUN, V.; REID P.A. y IAGOVKINA, S.2005. Antarctic climate change during the last 50 years. *Int. J. Clim.* 25: 279-294.
- VAUGHAN, D.G.; MARSHALL, G.J.; CONNOLLEY, W.M.; KING J.C. y MULVANEY, R. 2001: Devil in the detail, *Science* 293: 1777-1779.



# APTITUD AGROCLIMÁTICA DEL CÁRTAMO Y PASTO VARILLA PARA LA ARGENTINA

## *Agroclimatic aptitude of safflower and switchgrass in Argentina*

**Sofía Teresa Cañas \*, Stella Maris Fernanda Zalazar, Rafael Horacio Hurtado  
y Danilo Alejandro Carnelos**

Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Agronomía.  
U.B.A. Av. San Martín 4453. (C1417DSE) Ciudad de Buenos Aires,  
\*scanas@agro.uba.ar

### **RESUMEN**

El desarrollo de nuevas energías alternativas a la fósil, se ha acelerado debido a la actual crisis energética y a la necesidad de adaptarse a las consecuencias del cambio climático global. Dentro de éstas, se plantea la elaboración de biocombustibles, una de las posibles formas de contribuir a mejorar la calidad ambiental. Por otro lado, también, la búsqueda de cultivos de menor o nula importancia en la alimentación humana que no compitan con los cultivos tradicionales y que respondan con una eficiente producción en aquellos suelos actualmente degradados, se hace impostergable. Entre estas opciones se encuentran el *Panicum virgatum* L. (pasto varilla) y el *Carthamus tinctorius* L. (cártamo), cultivos que responden a estas necesidades de producción, que no interfiere competitivamente con la de alimentos, representando una nueva alternativa socioeconómica. En consecuencia, el objetivo de este trabajo es zonificar desde el punto de vista agroclimático los cultivos de cártamo y los cultivares “lowland” de pasto varilla, con el fin de determinar las áreas aptas marginales e inaptas, para la difusión de estas producciones en la elaboración de biocombustibles. Para establecer los límites bioclimáticos de los cultivos se calculó una serie de índices bio y agroclimáticos que corresponden a las normales climáticas del periodo 1971–2000. Los índices bioclimáticos propuestos permitieron establecer varias zonas con distintas aptitudes para el crecimiento y desarrollo del pasto varilla y el cártamo, las cuales, es preciso, ajustar a nivel edáfico y socio económico para realizar un estudio completo de factibilidad.

**Palabras clave.** aptitud agroclimática, zonificación agroclimática, *Panicum virgatum* L., *Carthamus tinctorius* L., límites bioclimáticos, biocombustibles.

### **SUMMARY**

In order to adapt to the energy crisis and the consequences of global climatic change, the development of new energy sources, different from fossil, has accelerated. Within these, biofuels elaboration may improve environmental quality. In addition, the research on crops that have an efficient performance in degraded soils, and do not compete with those harvested for food, is necessary for the sustainability of these energy sources. *Panicum virgatum* L. (Switchgrass) and *Carthamus tinctorius* L. (Safflower) are two new socio economic alternatives for biofuels production. Consequently, the objective of this study is to determine the agroclimatic zoning of safflower, and “lowland” cultivars of switchgrass in Argentina, for the purpose of delimitate the apt, marginal and inapt regions where these two crops may be introduced in Argentina. To the extent of

establish the bioclimatic limits, bio and agroclimatic indexes were calculated from the average climatic data of 1971–2000. These indexes were used to locate boundaries of several zones with different aptitudes for the growth and or development of switchgrass and safflower. These zones have to be adjusted in the edafic, and socio economic fields, for the sake of perusing a complete study of suitable adaptation to argentine environment.

**Key words:** agroclimatic zoning, *Panicum virgatum L.*, *Carthamus tinctorius L.*, bioclimatic limits, biofuels

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el desarrollo de nuevas energías alternativas se ha acelerado debido a la crisis energética mundial. Dentro de éstas, se plantea la elaboración de biocombustibles: bioetanol, biodiesel y biogás. Éstos provienen de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o desechos orgánicos. Si bien no conseguirán reemplazar en su totalidad a la energía proveniente del combustible fósil, podrán ser utilizados en una etapa de transición hasta que sea posible la implementación a gran escala de otro tipo de energías renovables.

En Argentina, la sanción de la ley N° 26093 establece que a partir del 1 de enero de 2010, todo el gas-oil y la nafta que se comercialice en el país deben complementarse con un 5% de biodiesel y bioetanol, respectivamente. Por lo tanto, la búsqueda de cultivos para este objetivo, de menor o nula importancia en la alimentación humana, se hace impostergable.

El *Panicum virgatum L.* (pasto varilla) originario del este de los Estados Unidos, es un pasto perenne de verano, utilizado principalmente como forraje. Existen dos variedades potencialmente útiles para la producción de biocombustible: lowland y upland. En este sistema de producción se realiza una única cosecha de los tallos; la celulosa de las paredes es la fracción vegetal a partir de la cual es obtenido el bioetanol.

Otra alternativa, el *Carthamus tinctorius L.* (cártamo), oleaginosa invernada anual oriunda de Asia. A partir de esta especie se puede elaborar biodiesel, el cual procede de la transesterificación del aceite de su semilla; hoy su uso radica principalmente en la obtención de aceite comestible, harina de extracción y alimento para aves.

Numerosos autores trabajaron en la determinación de elementos bioclimáticos y agroclimáticos útiles para delimitar la difusión de estos cultivos. En el caso del pasto varilla, Van Esbroeck y Hussey (1997) trabajaron con tiempo térmico en la determinación de las etapas fenológicas y Petruzzi *et al.*, (2005) determinaron la fecha óptima de cosecha en La Pampa. En cártamo, López Bellido, (2002) y Uslu *et al.*, (2002) estudiaron los efectos del estrés hídrico, entre otros factores; Oelke *et al.*, (2000) mencionan los días libres de helada necesarios para el desarrollo de este cultivo; Miller *et al.*, (2001) estudiaron la capacidad de adaptación del cártamo a partir de sus requerimientos de tiempo térmico en Manitoba, Canadá; Martínez *et al.*, (2008) estudiaron la evolución de la floración en Hilario Ascasubi, Buenos Aires; Esposito, (2006) en un estudio de mercado, plantea las posibles fechas de siembra para diferentes lugares del país. Asimismo, organizaciones como FAO y USDA presentan informes en sus respectivas páginas Web de los cultivos en los cuales se trabajó.

En consecuencia, el objetivo de este trabajo es zonificar desde el punto de vista agroclimático los cultivos de cártamo y los cultivares “lowland” de pasto varilla, con el fin de determinar las áreas más relevantes, para la difusión de estas producciones en la

elaboración de biocombustibles.

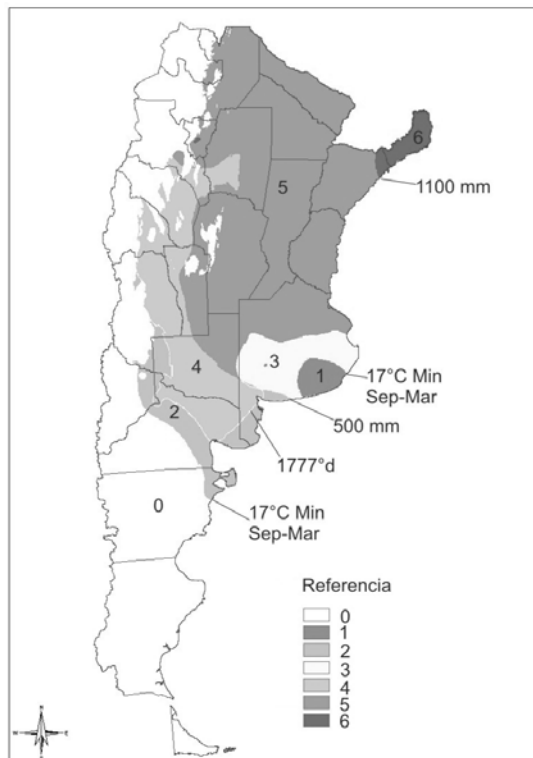
## MATERIALES Y MÉTODOS

Para los límites bioclimáticos de los cultivos se realizó una revisión bibliográfica, la cual considera:

**Pasto varilla:** requerimiento hídrico entre 500 a 1100 mm de precipitación en el ciclo; temperatura óptima entre 17° y 32° C; es una planta de día corto (Ecocrop FAO, 2008). Tiempo térmico hasta emergencia de panícula evaluado para cultivar Alamo 1777° C día, con Tb 10° C (Van Esbroeck y Hussey, 1997). Debido a que la producción de biomasa cesa a partir de la floración, la acumulación de tiempo térmico se contabiliza sólo hasta esta etapa fenológica. Este período ocurre durante los meses de septiembre a principio de marzo en la Argentina (Petruzzi *et al.*, 2005). El período libre de heladas necesario para el crecimiento de este cultivo es de 150 días (USDA, 2008), sin embargo, como este requerimiento se ve satisfecho desde latitudes altas dentro del país, no se lo incorporó a los mapas realizados.

**Cártamo:** requerimientos hídricos entre 300 mm (López Bellido, 2002) y 600 mm de precipitación en el ciclo (Uslu *et al.*, 2002). El período libre de heladas ronda los 120 días (Oelke *et al.*, 2000). Puede presentarse como una planta de día largo o insensible al fotoperíodo (FAO, 2002). En el norte argentino el ciclo del cultivo es de mayo a diciembre (Esposito, 2006), y en la Región Pampeana, desde agosto a febrero (Martínez *et al.*, 2008). El tiempo térmico necesario para llegar a la maduración es de 1400° C día, con una Tb de 5° C (Miller *et al.*, 2001).

Los datos climáticos utilizados para la determinación de los índices bio y agroclimáticos corresponden a las normales climáticas del período 1971–2000 (Servicio Meteorológico Nacional, 1986, 1992, 2006). Los mapas fueron realizados utilizando el software ArcGIS 9.



## RESULTADOS

El área en la que puede cultivarse el pasto varilla como materia prima para bioetanol, está delimitada al sur por la isoterma de 17°C (temperatura mínima media, período septiembre-marzo), y al oeste con la línea de los 1000 m.s.n.m (Figura 1). Dentro de esta amplia área, es posible encontrar una gran diversidad de zonas con distintas aptitudes para el crecimiento de este pasto. Figura 1: Zonificación del pasto varilla. 0: Inapta; 1: Mala 1; 2: Mala 2; 3: Regular 1; 4: Regular 2; 5: Muy buena; 6: Buena.

Para clasificar estas zonas, se jerarquizó el cumplimiento de la menor temperatura dentro del rango óptimo de crecimiento, la suma térmica y el requerimiento en precipitación, en el orden mencionado. Las regiones Mala 1, Mala 2 y Regular 1, están por debajo de la línea de tiempo térmico de

1777° C día (Tb 10°C), acumulados hasta emergencia de panícula (septiembre-marzo). La zona Mala 1 está por debajo de la isoterma de 17°C (temperatura mínima media, período septiembre-marzo). Estos hechos indican que en estas regiones hay limitaciones térmicas para el cultivo, es decir, que durante el período considerado, acumularía menor cantidad de biomasa. Las zonas Mala 2 y Regular 2 están por debajo de la isoyeta de 500 mm por lo que, para poder satisfacer sus necesidades en agua, requerirán riego. La zona denominada Buena está por encima de la isoyeta de 1100 mm, es decir, que pueden suceder excesos en el ciclo del cultivo. Por último la zona Muy buena, queda delimitada por todos los requerimientos bioclimáticos necesarios para el óptimo desarrollo de esta producción.

El área para la difusión del cártamo se encuentra limitada hacia el sur por la línea de los 1500°C día (Tb 5°C), que es la cantidad necesaria para alcanzar la maduración del fruto y hacia el oeste por la línea de los 1000 m.s.n.m. (Figura 2).

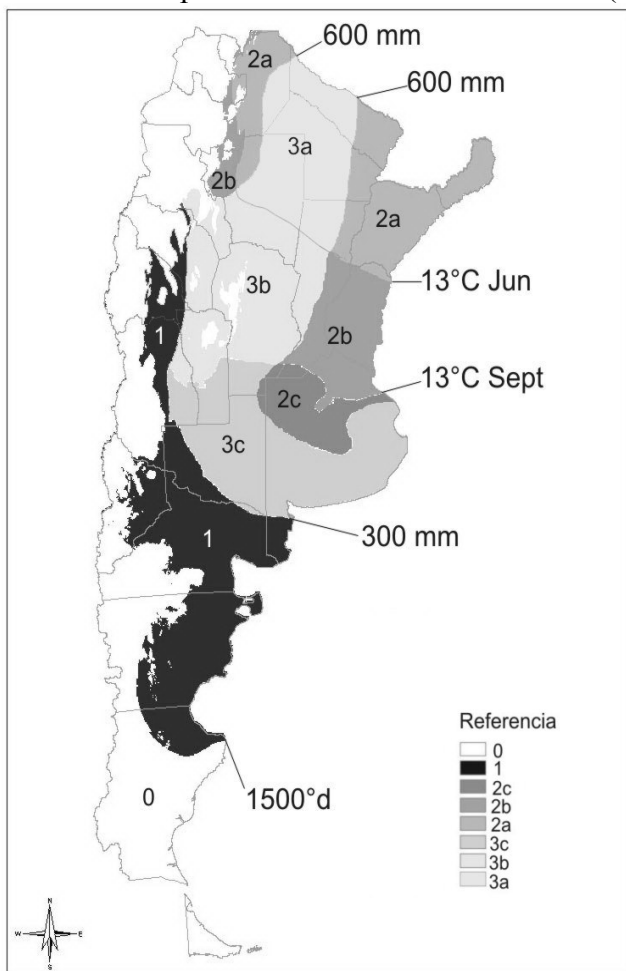


Figura 2: Zonificación del cártamo. 0: Inapta; 1: Marginal por deficiencia hídrica; 2c: Marginal por exceso hídrico, siembra tardía; 2b: Marginal por exceso hídrico, siembra intermedia; 2a: Marginal por exceso hídrico, siembra temprana; 3c: Óptimo, siembra tardía; 3b: Óptimo, siembra intermedia; 3a: Óptimo, siembra temprana.

Dentro de este espacio existen regiones con diversas épocas de siembras y aptitudes para el desarrollo del cártamo, delimitadas por isotermas que establecen la separación de los diferentes ciclos.

La región del norte está limitada al sur por la isoterma de temperatura media de 13°C de junio, aquí se presentan las zonas 3a y 2a. La siembra es temprana, comienza en mayo y se cosecha en diciembre. La zona 3a, considerada óptima, se encuentra entre las isoyetas de 600 mm. La zona 2a corresponde a una región marginal por excesos hídricos. En la parte oriental, a medida que el cultivo se siembra más al este, aumenta la probabilidad de

excesos hídricos perjudiciales. En la parte occidental de la región 2ª, la estacionalidad de las precipitaciones concentran los excesos en los meses cálidos, coincidentes con los últimos meses del ciclo, compensando primero las deficiencias invernales, por lo que sus efectos perjudiciales podrían verse algo atenuados respecto de la región 2a oriental.

Las zonas 3b y 2b pertenecen a la región central, la cual limita al sur con la isoterma de temperatura media de 13°C de septiembre. El ciclo se desarrolla entre los meses de julio a enero. Al oeste se presenta la zona 1, que recibe menos de 300 mm de agua en el ciclo, por lo que, una producción allí debería suplementarse con riego. La zona 3b está delimitada al oeste por la isoyeta de 300 mm y al este por la de 600 mm y es considerada óptima porque en ella se satisfacen los requerimientos térmicos e hídricos. Al este, se localiza la zona 2b, con precipitaciones mayores a 600 mm, con las mismas limitaciones que la región 2a oriental, donde los excesos hídricos reducen significativamente, la producción de aceite de buena calidad.

Por último en la región sur la siembra es tardía; el ciclo se desarrolla entre agosto y febrero. En ella se destaca la zona 3c, la cual presenta precipitaciones entre los 300 y 600 mm, por lo cual podemos clasificarla como zona óptima. Para la zona 2c caben las mismas restricciones por exceso de agua que se mencionaron para 2a y 2b.

## CONCLUSIÓN

Los índices bioclimáticos propuestos permitieron establecer zonas con distintas aptitudes para el crecimiento y desarrollo del pasto varilla y el cártamo. Las regiones con diferente aptitud agroclimática quedaron determinadas en las Figuras 1 y 2, respectivamente que, sin embargo, deberían ser ajustadas a nivel edáfico y socio económico para realizar un estudio completo de factibilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- ESPÓSITO, A. 2006. Perfil del mercado del cártamo (*Carthamus tinctorius*). *Gacetilla informativa del Sector Agropecuario*. [www.sagpya.mecon.agov.ar]
- FAO. 2002. ECOTROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Versión 1.0. AGLS. FAO. [www.ecocrop.fao.org]
- LÓPEZ BELLIDO, L. 2002. Cultivos industriales. Ed. Mundi prensa. Madrid. 1071pp.
- MARTÍNEZ, E.; RENZI, P.; MATARAZZO, R. y SCHMID, E. 2008. Efectos de la polinización en cultivos de interés apícola e industrial. Proyecto Regional de Apicultura del CERBAS. EE Hilario Ascasubi. INTA, Bs. As.
- MILLER, P.; MCDONALD, C.; DERKSEN, D. and WADDINGTON, J. 2001. The adaptation of seven broadleaf crops to the dry semiarid prairie. *Can. J. Plant Sci.* 81:29–43.
- OELKE, E.; OPLINGER, E.; TEYNOR, T.; PUTNAM, D.; DOLL, J.; KELLING, K.; DURGAN, B. and NOETZEL, D. 2002. Safflower. *Alternative Field Crops Manual*. [http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/safflower.html]
- PETRUZZI, H.; CASTRO, M.; GONZÁLEZ, H.; RUIZ, M. y STRITZLER, N. 2005. Determinación de fecha óptima de cosecha de *Panicum virgatum*. Investigación en Producción Animal 2004. Región subhúmeda y semiárida pampeana. EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”, INTA, *Boletín de Divulgación Técnica* 88: 28-32.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. 1986, 1992, 2006. Estadísticas Climatológicas 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000. Buenos Aires. Argentina.
- USDA-NRCS. 2007. The PLANTS Database. National Plant Data Center. Baton

- Rouge, USA. [<http://plants.usda.gov>]
- USLU, N.; TUTLUER, I.; TANER, Y.; KUNTER, B.; SAGEL, Z. and PESKIRCIOGLU, H. 2002. Effects of temperature and moisture stress during elongation and branching on development and yield of safflower. *Sesame and Safflower Newsletter N° 17*: 103-107.
- VAN ESBROECK, G.; HUSSEY, M. and SANDERSON, M. 1997. Leaf appearance rate and final leaf number of switchgrass cultivars. *Crop Science* 37: 864–870

# **CAMBIOS GLOBALES Y EFECTOS AMBIENTALES EN BOLÍVAR (PAMPA ARENOSA Y VALLE DEL VALLIMANCA), BUENOS AIRES, ARGENTINA**

*Global Changes and Environmental Consequences in Bolívar (Pampa Arenosa and  
Vallimanca Salado Basin,  
Buenos Aires, Argentina*

**María Celia García\***

Centro de Investigaciones Geográficas CIG-Facultad de Ciencias Humanas. UNCPBA.  
Pinto 399. CP 7000. Tandil. Buenos Aires. Argentina  
\*mariaceliagarcialarramendy@gmail.com.ar

## **RESUMEN**

Con el propósito de analizar casos de migraciones forzadas por cambios globales en Argentina, se seleccionó un caso de estudio dentro de la Pampa Arenosa y Valle del Valimanca-Salado bonaerense; intentando contemplar si existen cambios en el ambiente y adaptaciones a cambios globales, y entre sus efectos corroborar si existieron cambios del comportamiento demográfico poblacional. El presente trabajo aborda tanto al Partido de Bolívar como la ciudad San Carlos de Bolívar en la Provincia de Buenos Aires.

El análisis geomorfológico, climático y sociodemográfico se basó en datos estadísticos de fuentes oficiales, fuentes secundarias; así como en reconocimiento de campo y una encuesta estratificada realizados para analizar el comportamiento demográfico.

El territorio analizado posee riesgosas inundaciones (principalmente sobre el Valle Vallimanca), que se vienen acentuando desde la década de 1970 con ascensos de promedios anuales de lluvias. Desde los comienzos de los años 2000 se vienen presentando sequías muy prolongadas que afectan a humedales, y cambios en los usos del suelo hacia una sojización y al engorde de animales de tipo intensivo.

Las inundaciones de campos durante la década de los años 1980, produjeron pauperización en pequeños y medianos productores rurales, venta y arrendamiento de campos, los que desde finales de los años 1990 dan ingreso a actores como pools de siembra.

La población del Partido muestra un crecimiento negativo entre los dos últimos censos oficiales (1991-2001), con un decrecimiento de -315 habitantes (-1% de variación relativa). En la ciudad cabecera, el decrecimiento no es tan importante debido a que recibe población rural de su área de influencia. La población urbana que emigra es de los barrios céntricos y elige como principales destinos a grandes ciudades (Buenos Aires, La Plata), y ciudades intermedias (Olavarría, Tandil) de Argentina. Prácticamente es insignificante la emigración internacional.

**Palabras clave:** globalización, inundaciones, usos del suelo, migraciones.

## **SUMMARY**

The aim of this paper is to analyze the Environment Changes and Forced Migrations project (ONU, 2007-2008), argentine examples of population migration in relation with

changes and environmental problems, it choice 3 studies areas: 1) “Pampa Arenosa” and “Depression Valley Vallimanca-Salado”, in Buenos Aires Province; 2) “Patagonia Sur”, in Santa Cruz Province, and 3) “Yungas” in the Salta Province. In all cases, the native population has extinct (or in way to be extinct), to exist changes in environmental characteristics, and its behavior population.

This work is only centralized in the integration of environmental risks and social demographics characteristics into the area situated at Northwest of the Province of Buenos Aires, Argentina. The cases of study are San Carlos de Bolivar city and their department: Partido of Bolivar.

The analysis of geomorphologic, climatic and social demographic data setting done based background and official information, local documents and field surveys. To actual data of population it was 160 stratified inquiries, and their statistic analysis into a Geographic Information System.

The principal environmental risks of area are: is directly affected by floods; exist increase of rain; decrease of the capacity to infiltration during humid periods; has changes in water excesses with anomalies droughts; since 1990 has more frequency of storm and tornados and, into de Salado-Vallimanca basin (at South and Southeast of Partido de Bolivar), the floods over the plain are extremely dangerous.

The socioeconomic development, is directly associated at agriculture (Pampa Arenosa), extensive cattle, feet lot and bee-hive keeper (Vallimanca basin). Railroads no function since 1990 decade, and its roads and routes are affected by floods.

Partido of Bolivar population shows negative grow. Between lust census population, decrease their population (-315 inhabitants), that represent negative 1% in relative variation. Decrease of population is not than important in the San Carlos de Bolivar city. This received must important migration of rural population of itself influence area. The emigration of citizen people shows their principal places to leave: a) greats cities (Buenos Aires, La Plata), b) middle cities (Olavarría, Tandil). Almost is insignificant the international emigration.

**Key words:** globalization, floods, soil uses, migrations.

## INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto Europeo denominado “Migraciones Forzosas y Vulnerabilidad Social ante Problemas Ambientales (EACH FOR MIGRATION)” desarrolla el proceso demográfico directamente vinculado a cambios en la dinámica del ambiente que obligan a la población a desplazarse. Cabe aclarar que en este proyecto marco se focaliza principalmente por el análisis de desplazamientos de los grupos sociales más vulnerables: población pobre (tanto rural como urbana), población aborígen y población que por algún proceso sufre discriminación.

Con el propósito de analizar casos de estudio de Argentina, que representen situaciones de decrecimiento, mortalidad y/o migraciones de la población vinculadas a riesgos naturales y problemas ambientales, se seleccionaron y estudiaron tres áreas del territorio de la Argentina donde la dinámica natural y la construcción social del territorio conllevaran a estos comportamientos demográficos: 1) Pampa Arenosa y Cuenca del Vallimanca-Salado bonaerense; 2) Las mesetas centrales en Patagonia Sur (Provincia de Santa Cruz); Yunga en Sierras Sub Andinas y pie de monte en la Provincia de Salta). En todos estos casos, la población aborígen (o de pueblos originarios), prácticamente se ha extinguido o está en vías de desaparecer, su actual población también cambia su lugar



de establecimiento y, aunque vinculados a diferentes causas (que se enmarcan desde variaciones naturales a consecuencias vinculadas a modificaciones antrópicas), en cada una de estas áreas de estudio existen modificaciones *ambientales* (cuando se afirma ambientales, se está refiriendo a que no se trata sólo de modificaciones climáticas, sino cambios introducidos por el hombre que en definitiva tiene sus consecuencias para la población que vive en el lugar).

El presente trabajo se centra en el análisis e integración de los riesgos ambientales y las características sociodemográficas en el primer caso de estudio seleccionado, cuyo ambiente es de llanura arenosa y valle fluvial con riesgos de inundación (Vallimanca-Salado): Partido de Bolívar y localidad San Carlos de Bolívar, situado al noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Este departamento bonaerense ocupa una superficie de 4.912,16 Km<sup>2</sup> y su población original se la denomina Pampas (Tello, 1958: 6), o Pampa-Tehuelches (Bayer, 2007); la cual fue desterritorializada o desterrada, y en los términos de Bayer *exterminada* al momento de la consolidación de la denominada Conquista del Desierto que llevara adelante el General Julio A. Roca. Estos pueblos originarios empleaban este ambiente de llanura con pastos, lagunas y ríos como zona para alimentar ganado y quedan como testigos nombres en la toponimia de parajes tanto bonaerense como de la vecina Provincia de la Pampa, los que registran la importancia de estos cuerpos de agua para el manejo del agua en estas extensas llanuras que alternan entre praderas y estepas.

Alrededor de 1920, la población europea constituía la más importante proporción de la población rural en el territorio (que desde 1877 se fundó como Partido de Bolívar). La agricultura fue la principal actividad que dio origen al incremento de centros rurales (como Urdampilleta, Pirovano, Unzué, Hale, entre otras), todos ellos a la vera del trazado del Ferrocarril de 1878 (hoy ex Ferrocarril General Roca o FCGR, que une a la ciudad San Carlos de Bolívar con la Estación Constitución en Buenos Aires).

El medio natural en el que se emplaza el Partido es una llanura con presencia de formas medianosas en el oeste, centro y norte, mientras al sur y sureste se ha labrado un valle fluvial y formas muy deprimidas del terreno (valle del Arroyo Vallimanca, de la cuenca o Depresión del río Salado bonaerense).

Desde finales de los años 1970, en el área se han registrado un aumento de las precipitaciones y una de las consecuencias más importantes son las graves inundaciones que han afectado a la población de la zona rural.

De allí que desde el presente trabajo se intenta asociar ese riesgo ambiental al comportamiento demográfico de su población. Por tanto, se analiza la tendencia en crecimiento y movilidad de la población, tratando de apreciar si existe asociación entre los desplazamientos de la población a cuestiones ambientales.

## **MATERIALES y MÉTODOS**

Se parte de la hipótesis general del proyecto marco, considerando que para el caso del Partido de Bolívar, las inundaciones constituyen un riesgo ambiental que ha sido una causa de migración en la población.

Para caracterizar al medio natural se consideró el análisis de dos componentes principales del geosistema natural: datos climáticos (provenientes de diferentes fuentes estadísticas como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN); el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), y datos de precipitaciones tomados en la Estación de Ferrocarril Bolívar), y morfológicos o de relieve y drenaje del área, analizados a partir

de fotogramas aéreos e imágenes satelitales disponibles, cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar, fuentes secundarias y trabajo de campo.

El análisis de estadísticas climáticas se focalizó principalmente en el incremento de los valores medios de precipitaciones pluviales anuales y mensuales en el área, considerando una serie de 60 años de registros de lluvias ocurridas entre 1944 y el año 2003, y su correlación con el riesgo de inundaciones que afectó a la población de Bolívar.

El análisis del relieve y drenaje a partir de documentos y trabajo de campo, indican principalmente escasa a nula pendiente en terreno, la que impide o retarda el escurrimiento superficial de las precipitaciones.

Los datos de población del Partido de Bolívar y su comportamiento se basaron en datos de los censos oficiales disponibles (1895 a 2001), centrándose el estudio en los datos de los cambios acaecidos entre los últimos censos de Población Vivienda y Hogares del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC).

Para la actualización de datos en la escala urbana (localidad de San Carlos de Bolívar), se procedió a trabajar con una delimitación de la ciudad en áreas homogéneas con un equipo de trabajo de profesionales locales, y luego se diagramó, llevo a cabo y analizaron los resultados de una encuesta estratificada acerca de las características sociales (de calidad de vida y características socioeconómicas) y demográficas (atendiendo a movilidad, tiempo de establecimiento, razones de establecimiento, edades de emigrantes, razones de emigración y características de hogares de partida de emigrantes). Este diseño, elaboración y parte del procesamiento de los datos de encuesta se realizó con la colaboración de colegas y alumnos del profesorado de Geografía del Instituto Superior de Formación Docente de Bolívar, dirigido por M. Garcia en el año 2007.

El procesamiento de datos estadísticos a fin de considerar el comportamiento de la población se realizó adecuando datos atributos a una base digitalizada del Partido de Bolívar dentro de un Sistema de Información Geográfica de tipo vectorial. En dicha base digitalizada, junto a alumnos y colegas del E.D.I., se incluyeron capas gráficas de información referidas a geoformas (curvas de nivel), hidrografía superficial (arroyos y cuerpos de agua), rutas, caminos vecinales, traza del ferrocarril; y a fin de analizar estadísticas de población urbana, radiofracciones de censos 1991 y 2001, así como una capa de zonas homogéneas por uso del suelo predominante.

Los datos que resultaron de la encuesta estratificada fueron primero ordenados y analizados en forma estadística, intentando extraer cambios de lugar de residencia en la población a partir de estadística inferencial (García Ferrando, 1992). Por ultimo, se llevó a cabo el análisis geográfico a partir del empleo de Mapas temáticos elaborados en S.I.G.

Finalmente se intenta explicar si a partir de lo analizado se ha encontrado alguna relación entre el cambio ambiental, el riesgo a inundaciones y las causas de migraciones de la población.

## **RESULTADOS**

### **Componentes del Geosistema natural**

En la componente climática y a partir de la serie de estadísticas analizadas se puede establecer que a Bolívar le corresponde un clima templado, y Sub Húmedo. En partes

del año se pueden observar cambios en la humedad lo cual repercute en el nivel (crecidas y estiajes) de sus cursos superficiales y lagunas.

Como elemento que resultante del análisis del presente trabajo se aprecia una evolución ascendente de las medias anuales de precipitaciones fluviales. En ella se observan inclusive picos de precipitaciones extremas, los que alternan con épocas de escasas precipitaciones. Sin dudas, estos análisis conllevan a reinterpretar al trabajo de Ameghino acerca de inundaciones y sequías en la pampa bonaerense. En este trabajo las estadísticas permiten observar que los cambios ocurridos entre 1944 y 2003 son muy profundos e inclusive muy peligrosos cuando hablamos de inundaciones de una zona casi desprovista de desnivel o pendiente del terreno.

Si el análisis se toma desde periodos de 30 años de precipitaciones, se observa que las lluvias no solo aumentan en medias anuales sino que además lo hacen considerando los promedios mensuales. Así para la media mensual de la serie de datos 1944 a 1973, se observa que sólo la media del mes de marzo es superior a 100 mm; sin superar los 120 mm, y el promedio anual de precipitaciones se mantiene en 870 mm. En cambio, si consideramos los promedios mensuales para la serie de años 1974 a 2003, se observa que los promedios mensuales de lluvias son mayores a los 100 mm en siete meses (enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre), aumentando los toques máximos (marzo posee promedios superiores a 120 milímetros, octubre registra 120 mm, y subiendo el promedio medio anual de lluvias a 1022 mm.

El relieve natural del área, así como las modificaciones introducidas por el hombre hacen a una dinámica geomorfológica muy particular del área. Se encuentra caracterizada por tres componentes principales. Dos de ellas acerca de las formas del relieve natural y el patrón de drenaje asociado. En el caso del Valle del Arroyo Vallimanca-Salado, el relieve corresponde a un estado o etapa de erosión fluvial senil y con poca a casi nula pendiente, tanto que es imposible tanto en la cartografía como en la salida al terreno poder delinear el típico valle en forma de "v". En el caso de la Llanura medanosa o Pampa Arenosa, se trata de un terreno casi desprovisto de pendiente con lomadas que corresponden a relictos de un proceso sedimentario continental reciente, con presencia de cubetas de hidrodeflación (Tricart, 1973), aumentadas en profundidad en épocas de sequías y rellenadas con agua en los períodos más húmedos. En la salida de campo del año 2007 se observó que pocos casos de estos cuerpos de agua conforman cuerpos permanentes. Esta zona se encuentra desprovista de cursos de agua superficial. La Llanura de médanos y cuerpos lagunares está situada desde el centro y se continúa por el oeste y norte del Partido hacia los vecinos como Henderson. Es una llanura arenosa, en la que se destacan relieves eólicos que van desde un predominio de médanos longitudinales (dispuestas en el sentido suroeste a noreste), hasta incluyendo formas transversales de tipo barjanes y hasta parabólicas. Entre estos relieves alternan lugares bajos o cubetas de erosión, que en épocas de mayor humedad y precipitación albergan cuerpos lagunares que sólo después de un prolongado período de lluvia, presenta un espejo de agua o laguna libre de vegetación. La zona no tiene delineados valles ni arroyos superficiales, sólo pequeños lagos superficiales se encuentran ocupando depresiones del terreno. Por tanto, el drenaje no está integrado y el relieve se caracteriza por pendientes muy suaves. Prueba de ello es que desde la carta topográfica se ha podido comprobar que la altura del Partido de Bolívar desciende desde escasos 112,5 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), hasta apenas 87,5 m s.n.m., en una distancia de 50 Km. Igualmente, aunque la pendiente es muy suave, durante inundaciones como las ocurridas en la década de 1980, es posible observar (a partir de mapeos obtenidos de

imágenes de satélites), que éstas se producen con mayor duración y permanencia en las zonas más deprimidas y delineadas entre médanos. Un tercer elemento se agrega al relieve, con la introducción de cambios de la mano del hombre que modifica este marco de dinámica natural. Entre ellos figuran tanto los terraplenes construidos para trazar tanto rutas como ferrocarriles (elementos que sobresalen o formas positivas de relieve, que se destacan y hasta producen verdaderos diques en terrenos de escasa pendiente); como las cunetas excavadas a ambos lados de rutas y terraplenes, canales de drenaje realizados por Hidráulica y todo un sistema de canales de descarga de campos particulares (elementos de relieve negativo), verdaderos surcos o canales de drenaje que se introducen en el terreno a fin de aliviar o hacer más rápido el drenaje de aguas en un momento de inundación.

### **La población.**

La localidad de San Carlos de Bolívar es ciudad cabecera del Partido de Bolívar. Fundada en 1878, ocupa un emplazamiento relativamente elevado (dentro de la llanura arenosa) y cercano al que fuera Fuerte de avanzada de la denominada “civilización” hacia el “Desierto” (que en realidad no se trataba ni de un desierto en términos de Geografía Física, ni eran tierras desiertas). Desde fines del siglo XVI el área departamental ya era transitada asiduamente por la población aborígen, que dominaba el arte de criar caballos y ganado, en esta zona que, gozaba de la presencia de agua dulce. En los términos del historiador Bayer, la población autóctona, o los pobladores *auténticos* (como la denominaría Marlo Morgan, 2004), fue diezmada con la avanzada de la “civilización” que “*degollaba y ahorcaba salvajes, para ahorrar en municiones*” (Bayer, 2007, *op cit*).

Con la instalación de la población europea de la gran inmigración comienza a desarrollarse siembras de granos y la instalación de esta población en el área rural. El nacimiento de centros rurales localizados junto al desarrollo del trazado del Ferrocarril Gral. Roca, muestra el florecimiento de la agricultura en el área. Un modelo de Argentina agroexportadora acunaban este florecimiento de agricultores y el crecimiento poblacional entre 1895 a 1914 (163,69%). El crecimiento se continúa para el censo de 1947, a pesar de que en Argentina ya encontramos el marco de un modelo tendiente a sustituir importaciones. Pero se observa un salto con crecimiento negativo para el censo de 1960.

Actualmente la principal actividad rural es agropecuaria, con cría de ganado en forma extensiva, aunque ha sufrido desde fines de los años 1990, un proceso de sojización y desde mediados de los años 2000, de cría y engorde de ganado en forma intensiva (denominado feedlot). Si bien no ha descendido el número de cabezas de ganado de acuerdo a las cifras oficiales de Censos agropecuarios anteriores (excepto en número de novillos), se espera que para el que se realiza en el momento en que se escribe este trabajo, se note una merma en cantidad, mas allá de su redistribución.

Las empresas agropecuarias han disminuido entre los Censos Agropecuarios 1998 y 2002, y desde 2001 al año 2006 el valor de la tierra ha aumentado en un 550% (para el caso de las hectáreas menos favorables, o inundables); mientras que las tierras más altas, han incrementado su valor en un 700% para el mismo período (valores calculados de acuerdo con cotizaciones otorgadas desde la firma de martilleros públicos Madero, Lanusse, Belaustegui y Cía.).

La principal actividad económica en la Llanura arenosa está asociada directamente a la agricultura de la soja. En el caso de la cuenca del A° Vallimanca- depresión del Salado

se ha cambiado de una economía basada en ganadería extensiva a una sojización y ganadería intensiva.

Para la campaña 2006-2007 existían en el Partido de Bolívar 75.000 ha sembradas con soja, mientras que 40.000 ha de superficie sembrada se dividían entre trigo, maíz y girasol (CITAB, 2008).

Las principales consecuencias de estos cambios en usos del suelo son: a) menos necesidad de trabajadores o mano de obra rural; b) decrecimiento del número de cabezas de ganado vacuno (criado en forma extensiva y con pastura natural), c) decrecimiento de las posibilidades de pequeños productores de diversificar sus actividades hacia otros usos (cría de porcinos, cría de aves, cría de colmenas para producción de miel, entre otros), no compatibles con el empleo masivo de herbicidas y productos fumigados que se extienden desde aviones en forma poco selectiva y para mantener la soja, d) incremento del precio o valor de las tierras, que favoreció que pequeños productores del área rural, arrienden sus campos.

Respecto al comportamiento de la población entre censos oficiales consecutivos, se observa que la población del Partido de Bolívar presenta un su momento de gloria junto a la localización de la población inmigrante europea, y luego muestra crecimientos de población con tendencia negativa. El primer descenso en su crecimiento desde 1960 llegando a ser negativo. También en 1970 presenta crecimiento negativo (-2,77% respecto a la población de 1960). Vuelve a repetir este comportamiento tanto en 1991 (-0,97% respecto al censo de 1980). En este descenso en el crecimiento se puede suponer que han tenido un importante peso las inundaciones ocurridas en la década de 1980.

Si bien no se cuenta con datos oficiales acerca de la distribución entre la ciudad cabecera y el área o centros poblados rurales, puede suponerse que también hubo cambios en la distribución de la población entre los censos 1980 y 1991. Este comportamiento si se puede observar a partir de los datos correspondientes a los censos de INDEC 1991 y 2001, en los que se confirma que mientras que la población rural disminuye, en cambio en la ciudad San Carlos de Bolívar presenta un pequeño incremento.

Considerando el análisis de los datos censados a partir de una encuesta estratificada en áreas homogéneas de usos del suelo en San Carlos de Bolívar (durante el año 2007), y su traducción dentro de un Sistema de Información Geográfica desde el cual se obtuvo un mapa, se define que en la ciudad existen tres áreas homogéneas de mayor importancia a fin de considerar el comportamiento migratorio: Área Central o Distrito comercial, Área Central desde el Centro a Periferia y Área Periférica de la ciudad. En una zona central de la ciudad de Bolívar, que corresponde con el Distrito comercial y administrativo (CBD), funcionan edificios de gobierno, establecimientos educativos, bancos, iglesias y la mayor concentración o densidad de comercios de la ciudad. Esta zona es de uso predominantemente comercial sobre el residencial. La población allí censada es población mayor, con bajo número de integrantes por familia censada, y alta a media calidad o condiciones de vida.

En torno a esta zona del CBD, una franja en torno a ella se ha denominado Área Central, de uso predominantemente residencial, donde alternan usos comerciales. La población allí censada corresponde a familias con bajo número de niños o integrantes y alta condiciones o calidad de vida. En esta zona homogénea se ha detectado el principal foco de emigración, el cual de acuerdo a lo que exponen sus familias ocurrió desde 1985 y continuó hasta el año 2002. Exponen como razones de emigración de algún integrante familiar las siguientes: Búsqueda de mejores trabajos, búsqueda de mejores condiciones

de trabajo (3,14% de los casos encuestados totales y 42% de los casos encuestados emigrantes), y para estudios superiores o universitarios. Los principales destinos de esta población emigrante son La Plata, Buenos Aires, Olavarría, Tandil, Azul, Mar del Plata y (con solo dos casos) migraciones internacionales dirigidas a Madrid y Barcelona en España. Quienes declaran familiar emigrante para conseguir mejores condiciones de trabajo enuncian como destino a ciudades ubicadas inmediatamente al Sur de la localidad de Bolívar y a las que se llega en pocas horas (Olavarría y Tandil).

En los casos que se declara como razón de movilidad estudiar en la Universidad (1,85% de los emigrantes), los destinos principales corresponden a ciudades de mayor tamaño como La Plata y Buenos Aires. Los casos de emigrantes a España, son casos de población con nivel educativo Escuela Media completa, y sus razones principales son encontrar un trabajo con mejor remuneración y acceder a mejor calidad de vida. En ningún caso mencionan que estos movimientos de población se encuentren vinculados a inundaciones.

Área de la periferia de la ciudad: se encuentran emplazadas alrededor de las anteriores y extendidas hacia la periferia. Presenta construcciones residenciales de diferentes características habitacionales. Algunas de sus partes incluye: Barrios construidos por operatorias de gobierno o planes desde municipales o de la Provincia de Buenos Aires y/o nacionales; y hasta nuevas construcciones particulares de mediana a baja calidad. Si bien el uso predominante es residencial, aparecen toda una gama de usos correspondientes a servicios, comercios de barrio y hasta talleres que deberían estar radicados en un distrito industrial. La radicación de la población dentro de esta área se realizó entre 1987 hasta 2007 inclusive. Población que antes trabajaba sus chacras o pequeñas propiedades rurales, indican que sufrieron las inundaciones de finales de los años 1980. Sin embargo, quienes provienen desde el campo del área de influencia de Bolívar, indican que recién desde 1990, en *tiempos de estabilidad* (como lo señalaron en 7 de las 48 encuestas realizadas en el área homogénea), hicieron efectiva su residencia en el área debido a que el valor de las tierras les permitió *arrendar* o *vender* sus tierras en forma conveniente como para *venirse a la ciudad*.

Los principales lugares de origen de esta población son centros rurales dentro del Partido de Bolívar (Urdampilleta, Pirovano, Hale y Vallimanca), y le siguen en importancia otros centros rurales de partidos aledaños (Magdala en Pehuajó, Herrera Vega en 9 de Julio).

Zona Periferia externa: Es la zona más heterogénea de la ciudad donde se mezclan usos del suelo urbano, con predios empleados para servicios de la ciudad incluidos el Parque de las lagunas Acollaradas, y donde se registra la localización más reciente de la población.

Dentro de ésta se destaca la zona localizada en la periferia urbana del suroeste de Bolívar (y hasta casi separada de la ciudad por el trazado de la Ruta Nacional 226), se encuentra una zona residencial con importante componente de familias jóvenes, cuyos jefes de hogar poseen nivel de instrucción superior o universitario. Otra de las razones para destacar esta parte de la periferia es la buena calidad de la construcción de sus viviendas, a pesar que en esta zona no se cuenta con la extensión de todos los servicios urbanos. Desde el punto de vista de las migraciones, muchos de los Jefes de Hogar radicados allí, son profesionales que una vez que terminaron sus estudios en otras ciudades, han regresado a Bolívar para trabajar y formar una familia.

En cambio en sectores de la periferia ubicados al norte y noreste, así como al sur-sureste de Bolívar, las condiciones de vida, incluidas las características de los materiales de las viviendas son las peores dentro de la ciudad.

## **DISCUSION Y CONCLUSIONES**

El incremento en el monto promedio de lluvias que se registran entre 1944 a 1973 en el área Partido de Bolívar es de alrededor de 150 mm y en forma coincidente se registran picos de precipitaciones medias mensuales para los últimos 30 años de la serie. Todo ello tiene lugar en un terreno de llanura y valle con nula a escasa pendiente, lo cual condujo a las inundaciones de extremo riesgo de mediados a fines de los años 1980. Sin embargo, en este medio natural la intervención humana juega también un papel favorable al incremento de riesgos. Se trata de los terraplenes sobre los que se construyen ferrocarriles y rutas, así como canales de descarga. Estos canales de drenaje alivianan solo el riesgo de las zonas que intentan desaguar, pero transfieren muchas veces el riesgo a los terrenos más bajos, donde hacen más grave el riesgo a inundación.

A pesar del entorno rural inundable, la ciudad San Carlos de Bolívar se levantó en una zona relativamente alta (topográficamente entre curvas de 90 a 95 metros aproximadamente), sobre una franja de medanos que incluyen a cubetas con lagunas como el conjunto de Acollaradas (hoy en día una de estas lagunas ha sido rellenada), y conforma el corazón de un parque o espacio verde ubicado al norte - noroeste de la ciudad. Si bien se puede observar que las inundaciones afectan a una gran superficie del Partido de Bolívar, y que cuando llueve en forma torrencial partes de la ciudad llegan a inundarse, no todo el conjunto urbano sufre las inundaciones en sus viviendas, sino más bien se sufre las inundaciones por quedar encerrada o sitiada y aislada por las zonas inundadas a su alrededor.

Esto habla de la calidad del emplazamiento de la ciudad cabecera, para lo cual (y al igual que para el trazado del ferrocarril), se tuvo en cuenta el camino de los arrees de ganado de los pampas, quienes no sólo ya pastaban en estas tierras sus animales, sino que acampaban y conocían hasta el último detalle del relieve del lugar y su dinámica.

Prácticamente no quedan descendientes de población original de estas tierras, pero su desaparición no fue forzada por cuestiones ambientales, sino como ya explicáramos por campañas militares y una tendencia de ordenar territorios (donde en nombre de la civilización se destierra).

El esplendor de la población para el Partido de Bolívar cuenta a partir de las cifras oficiales de la historia nacional. Por tanto, es coincidente con el florecimiento de los centros rurales que aparecen vinculados a una población inmigrante (descendiente de europeos) que instauraron en estas tierras actividades de agricultura extensiva, y también vinculada al trazado de las vías del Ferrocarril que convivió con la agroexportación. Sin embargo, luego de un cambio de modelo (hacia la historia económica industrial de nuestro país), y más adelante con un incremento precipitaciones y riesgo a inundación del área, parecen diluir el crecimiento de población esperado.

Debido a que no se contaban con datos actualizados ya que el último censo nacional disponible se realizó hace mucho tiempo (en el 2001), y a que en el momento de materializarse su trabajo de campo, gran parte del Partido de Bolívar se encontraba inundado, se decidió realizar una encuesta estratificada en zonas homogéneas y dentro de la ciudad. Estos datos permitieron no sólo actualizar datos de condiciones sociales de la población sino recabar datos acerca de los movimientos migratorios y sus razones.

Desde el punto de vista de los movimientos migratorios de la población, puede señalarse que desde las inundaciones de la década de 1980 se encuentra una fuerte vinculación de la población rural que emigra hacia la ciudad San Carlos de Bolívar, radicándose en la zona homogénea que se ubica en la denominada para este estudio Área de la periferia de la ciudad. Sus lugares de origen inclusive superan al de pueblos rurales bolivarenses, ampliándose hasta pueblos rurales del área de influencia. Esta zona receptora de población, sin embargo, muestra que la radicación más numerosa ocurre a partir de mediados de los años noventa y principalmente a comienzos de los años 2000, vinculada a procesos económicos de avance de tierras sembradas con soja, menor requerimiento de mano de obra rural, aumento de valor de las tierras y a una causa económico-ambiental, ya que ante el avance de la soja (y sobre todo por los métodos de fumigación que se emplea), y a la cría intensiva de animales, ha ocurrido la pérdida relativa de actores económicos (pequeños y hasta medianos productores agropecuarios), quienes ya no pueden desarrollar otras actividades como la cría de porcinos y apicultura. Respecto a las emigraciones desde Bolívar. La zona expulsora de población es la que aquí hemos denominado Área Central que rodea al CBD. Las familias allí censadas poseen bajo número y buenas condiciones de vida. De acuerdo a lo que exponen, los integrantes de sus familias comienzan a emigrar desde 1985 y el proceso se hace continuo hasta el año 2002. Exponen como causas vinculadas la búsqueda de mejores trabajos, búsqueda de mejores condiciones de trabajo y para realizar estudios superiores o universitarios. Los principales destinos de esta población emigrante son La Plata, Buenos Aires, Olavarría, Tandil, Azul, Mar del Plata y (con solo dos casos) migraciones internacionales (destinos Madrid y Barcelona). A pesar de que estos movimientos comienzan en 1985 (en forma coincidente con las inundaciones), no mencionan en la encuesta a las inundaciones como razones para emigrar desde Bolívar. Por tanto, al considerar las migraciones para el caso de estudio, sólo cabría una fuerte vinculación a movimientos de población forzada por cuestiones ambientales al caso del desplazamiento de población desde áreas rurales a la ciudad, inclusive cuestiones ambientales que son producidas por el hombre (que incluye desde canales de desagüe y hasta avance de la soja con pérdida de cultura en actividades que antes eran posible). Las emigraciones desde San Carlos de Bolívar se vinculan a cuestiones económicas y sociales, a fin de intentar nuevos horizontes y mejorar la calidad de vida.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- AMEGHINO, F. 1981. La Formación Pampeana o Estudio de los terrenos de transporte de la Cuenca del Plata. Buenos Aires – Paris. Argentina.
- BAYER, O. 2007. La Explotación y Concentración de tierras en la región pampeana desde la Campaña al Desierto. Disertación en Escuela Técnico Agropecuaria. Magdala, Partido de Pehuajó. Argentina.
- CITAB ó CENTRO DE INVESTIGACIONES TERRITORIALES Y AMBIENTALES BONAERENSES, 2007. Informe *sobre Partidos*. La Plata, Bco Pcia de Bs. Aires.
- GARCIA FERRANDO, M. 1992. Socioestadística. Introducción a la estadística en Sociología. Madrid. Alianza Editorial. España.
- INDEC., 1998. Anuario Estadístico de la República Argentina 1997. Buenos Aires. Red Federal de Formación Docente Continua. Ministerio de Cultura y Educación de la Nación.



- INDEC., 2007. “Evolución de la Población del Partido de Bolívar”. En Partido de Bolívar. Datos disponibles en <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Bolivar-partido>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS Y CENSOS (INDEC), 2004. Estimaciones y proyecciones de población. Total del país. 1950-2015, Buenos Aires, Serie Análisis Demográfico N° 30.
- MORGAN, M. 2004. Las voces del Desierto. Barcelona. Editions B.
- TELLO, E. 1958. Toponimia Araucana – Pampa, Santa Rosa, Edición de la Dirección de Cultura La Pampa.
- TRICART, J. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Buenos Aires. Colecciones científicas de INTA. Ediciones CONI.
- VAPÑARSKY, C. 1984. “Aportes Teóricos-metodológicos para la determinación censal de localidades”. Buenos Aires. Segunda edición. Cuadernos N- 11. CEUR.



# EVOLUCIÓN DE LOS SUELOS FRENTE A DIFERENTES ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.

## *Soil evolution in relation to different climatic change scenarios*

**Olga Susana Heredia\*, Carla Pascale y Hernan Mengoni**

Cátedra de Edafología, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aites.

\*heredia@agro.uba.ar

### **RESUMEN**

Se evaluó el efecto que los escenarios de emisión del IPCC, B1 y A2 pueden tener sobre la evolución de los suelos y su balance hidrológico. Los escenarios climáticos evaluados indican que los cambios en la temperatura y precipitaciones producirán cambios en las propiedades de los suelos y la velocidad con las que estas ocurren. Posiblemente se pierdan suelos Molisoles que evolucionarían a Alfisoles y Ultisoles según las condiciones de equilibrio ecológico final a las que se llegue. Para el Hapludol, la situación combinada de aumento de 3°C en la temperatura y de 10% en las precipitaciones, el exceso de agua sería de 201 mm/año, por lo que la cantidad de agua que atravesara el perfil edáfico en el escenario A2 será menor a la actual.

**Palabras clave:** edafogénesis, almacenamiento de agua, excesos y déficits de agua, cambio climático

### **SUMMARY**

The effect of the IPCC scenarios of emission B1 and A2, over soil evolution and their hydrological balance was evaluated. The evaluated climatic scenarios indicate that the change in the temperature and precipitations will produce changes in the soil properties and the velocity with which these they happen. Possibly Mollisols were lost, and would evolve to Alfisols and Ultisols according to the final ecological equilibrium that arrives. For the studied soil, Hapludol, In the combined situation of increase in 3°C in the temperature and 10% in the precipitations, the excess of water will be of 201 mm/yr, the water quantity gives that crossed the soil profile in the scenario A2 will be smaller to the current one.

**Keys words:** soil genesis, water storage, water excesses and deficits, climate change

### **INTRODUCCIÓN**

La temperatura media anual de la República Argentina ha aumentado 1°C durante la última centuria, con similares características en todas las estaciones, siendo un poco superior entre junio y agosto. En paralelo, la frecuencia de heladas ha disminuido (Hulme and Sheard, 1999; Fernández Long *et al.*, 2005; Murphy, 2009). Otros análisis locales indican que, por ejemplo, para el norte del país esta tendencia no es significativa, registrándose sólo cambios positivos en la temperatura mínima. Sierra y Perez (2006), para el noroeste de Buenos Aires, encuentran que no es posible dilucidar si el aumento en las precipitaciones ocurridas en esta zona, sean temporales o permanentes, constituyen un cambio irreversible o forma parte de un ciclo de larga

duración con fases secas y húmedas separadas por períodos de transición. Otros autores han encontrado evidencias sobre el cambio climático en la región oriental de secano de la República Argentina (Specha *et al*, 2009) sobre las variables agrohidrológicas (Serio, 2006).

Barros (2004), señala que el clima tiende a una tropicalización, con una gran frecuencia de tormentas severas, y un alto riesgo de provocar inundaciones. Los modelos climáticos que proyectan el futuro prevén, sin embargo, un estancamiento en el nivel de caída de agua (Camillioni y Barros, 2009).

Con relación a los suelos y teniendo en consideración lo propuesto por Jenny (1941), los mismos son el resultado de la interacción de cinco factores formadores, en los cuales el clima y por consiguiente el ambiente biológico fueron muy importantes en el desarrollo de los suelos de la región pampeana. En consecuencia, una posible variación en los mismos, podría conllevar a una modificación del actual equilibrio que los caracteriza. En el caso de aumento de la temperatura y las lluvias, modificarían el actual equilibrio de los suelos, estos cambios pueden acelerar el tiempo de los procesos químicos y biológicos más rápidamente que los de los tiempos geológicos llevándolos a un nuevo equilibrio en cortos plazos de tiempo.

El efecto del cambio climático ha sido estudiado desde el punto de vista productivo, agroecológico, hidrológico y económico (Seoane, 2009; Leva y Aguiar, 2009), sin embargo pocos han evaluado el efecto que el cambio climático tendrá sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos (Heredia *et al*, 2006).

El suelo es parte del problema como de la solución del cambio climático, por lo que es indispensable apoyar prácticas de uso del suelo que ayuden a mantener y o a mejorar su calidad, aunque existen vacíos de investigación sobre la posible evolución de los suelos del país.

Un aspecto importante del cambio climático regional es la disponibilidad de agua en el suelo. El clima genera, por un lado cambios en las precipitaciones y temperatura y por otro, reflejándose en consecuencia en el contenido de humedad del suelo y el agua disponible para las plantas (Huszar *et al*, 1999). Es así que se considera señalar como un aspecto importante del cambio climático regional, la disponibilidad de agua en el suelo. Por lo señalado precedentemente, este trabajo se plantea como objetivos analizar la posible evolución de los suelos en la región pampeana frente a distintos escenarios de cambios en las precipitaciones y en la temperatura, y calcular los valores de excesos y deficiencias hídricas frente a distintos escenarios de cambio climático.

## **MATERIALES y MÉTODOS**

Para evaluar los efectos que el cambio climático puede tener en los suelos de la región pampeana, se eligieron diferentes escenarios de emisión de CO<sub>2</sub> planteados por el IPCC (2007 y 2008). El cambio de emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de fuentes energéticas y/o industriales para el año 2100, varía desde una disminución del 4% (escenario B1) a un aumento aproximado de 320% (escenario A2), si se compara con lo estimado para el año 2000 para los cuatro escenarios planteados por el IPCC. Estas estimaciones de futuras emisiones se calculan asumiendo que no existe ninguna puesta en práctica de políticas climáticas. La concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico aumenta de la concentración del año 1999 (370 ppmv) a una concentración cercana a 550 ppmv en el escenario B1 para el año 2100, y por encima de 830 ppmv en el escenario A2. Asimismo las concentraciones de otros gases invernadero también aumentarían (IPCC, 2007).

Para este trabajo se eligieron como escenarios de estudio el B1 (baja emisión y bajo impacto) y A2 (alta emisión). En el escenario B1 para la región pampeana para el año 2080, se estiman aumentos de la temperatura de 0,9 a 1,2°C y un 3% de incremento en las precipitaciones, mientras para el escenario A2 el aumento de temperatura será en promedio de 3°C (2.9 a 3.7°C ) y de 10% en las precipitaciones (Figura 1). Este incremento de 3 °C coincide por lo encontrado por Nuñez *et al.* (2005).

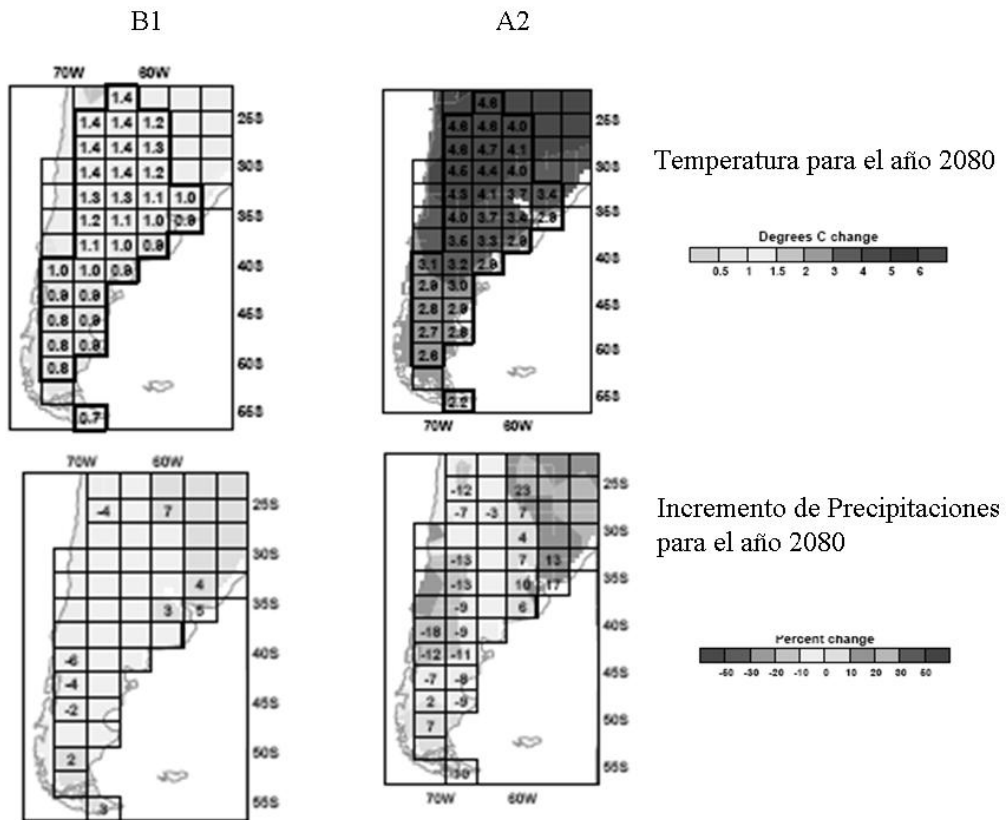


Figura 1: Escenarios de emisión del IPCC seleccionados para este trabajo (Adaptado de Hume and Sheard, 1999)

Según Hulme and Sheard (1999) dentro de la Argentina, el norte del país se calentará considerablemente más rápido que el sur. Por ejemplo, en el escenario A2 el sur del continente se calentará a una velocidad de 0.25°C/década, mientras que el norte de Argentina se calentará a una velocidad de 0.4°C/década. Para el escenario B1, estas velocidades de calentamiento están reducidas por un factor de alrededor de tres.

Para calcular el balance hidrológico, el suelo evaluado sobre el que se determinaron los cambios en el balance hidrológico fue un Hapludol típico del oeste bonaerense. Se tuvieron en consideración las temperaturas y precipitaciones medias mensuales para el período 1986-2006 (SMN), y en base a estos valores se calculó lo que pasará en el balance con un aumento de la temperatura en un 3% y un 10% en las precipitaciones estimados hacia el año 2080 en la zona (Figura 2).



Figura 2: Área bajo estudio para el balance hidrológico del oeste de Buenos Aires

En el suelo en estudio, se determinó la humedad del suelo a capacidad de campo, la que fue utilizada como variable que expresa el contenido hídrico en el balance de agua del perfil. Los balances se calcularon con el programa BALUBA (Hurtado, 1991) a partir del dato de humedad equivalente media y los datos climáticos. Se compararon los excesos y deficiencias hídricas entre los escenarios considerados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evolución de los suelos

En el escenario B1 pueden esperarse cambios en los suelos tendientes a una disminución en el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) y en consecuencia de su fertilidad, esto también estará relacionado con el manejo al que estén sometidos los suelos. Esta pérdida en MOS se debe especialmente al efecto que tiene la temperatura en la velocidad de descomposición de la MOS (Álvarez y Lavado, 1998). En ambientes frágiles la pérdida de MOS (disminuciones de un 25 al 45%) y sus fracciones puede darse en cortos períodos de tiempo (2 años), especialmente cuando se deforesta el suelo o se cambia la vegetación natural por agricultura (Ciarlo *et al*, 2004, Heredia *et al*, 2006), este proceso entonces es esperable que se acelere generando un impacto

importante en la pérdida de stock de carbono en el suelo y una mayor emisión del CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Para el escenario A2 el aumento de la temperatura de sur a norte, variará entre 2.9 a 4.1°C, con un aumento de las precipitaciones del 6 al 10% (Hulme and Sherad, 1999). Esto, además de provocar un descenso en los niveles de materia orgánica por el cambio del balance hidrológico que se producirá en la zona, con épocas marcadas de déficits hídricos, podría acelerar el proceso de lixiviación de bases en los períodos húmedos como consecuencia de las mayores precipitaciones, acompañado también por el aumento de la temperatura que acelera las reacciones químicas. Estos cambios podrían generar como consecuencia una acidificación del suelo (Figura 3). Con periodos marcados de sequía y humedecimiento puede ocurrir una translocación acentuada de arcillas con un cambio textural abrupto. Si se consideran estos cambios y se plantean en relación a su impacto sobre el territorio, podría suponerse que bajo el escenario en estudio, ocurriría una disminución en la superficie de suelos Molisoles y un aumento de los Alfisoles.

Estos cambios también producirán cambios en la diversidad biológica (IPCC, 2008).

Los Alfisoles se originan por el movimiento vertical del agua por períodos prolongados en condiciones de alta temperatura sobre prácticamente casi cualquier tipo de material parental. Su principal característica es la formación de un horizonte argílico o sea de acumulación de arcilla iluviada (que migra del horizonte superficial al profundo). Para que la lixiviación ocurra con intensidad, la precipitación debe ser más elevada que la evapotranspiración potencial en condiciones de drenaje libre, esto es que la tabla de agua debe encontrarse muy profunda y separada de la superficie, ambas situaciones se dan para el balance hidrológico del suelo para las situación A2 correspondiente al cambio en el balance hidrológico del suelo.

Este proceso conlleva la pérdida de cationes mono y divalentes (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>) con la acumulación de cationes tri y tetravalentes como el Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup> y Si<sup>3+</sup>. La coloración de estos suelos se debe principalmente al grado de hidratación del Fe el cual, en su forma oxidada, confiere tonalidades pardo rojizas o rojizas en las partes cóncavas del relieve, y en su forma hidratada da cabida a los colores pardo amarillentos y amarillentos en las depresiones convexas de estos paisajes (Henriquez *et al*, 2009).

Uno de los procesos pedogenéticos involucrados es el de fersialitización, formados sobre materiales sin características especiales bajo clima templado-cálido o cálido con época de lluvias y periodos secos acusados. En el periodo húmedo hay alteración química de los silicatos con liberación de óxidos de hierro y pérdida parcial de sílice coloidal y aparición de arcillas de neoformación, también se puede producir arrastre mecánico de arcillas hacia horizontes inferiores. En verano el perfil seco se produce deshidratación del coloide férrico dándole un color rojo a los horizontes inferiores

Si se considera lo que puede suceder hacia el norte, con un aumento un poco más marcado de las temperaturas medias anuales se puede dar la formación de Ultisoles.

El principal criterio para clasificar estos suelos como Ultisoles y Alfisoles es la presencia de un horizonte argílico y/o kándico subsuperficial, en el primer caso bajo condiciones ácidas (trópicos húmedos), y en el segundo, en condiciones neutras a básicas (trópico húmedo seco).

Estos cambios posiblemente sean mas rápidos que lo esperado y a lo que se esta acostumbrado en el estudio de la evolución de los suelos, este efecto de aceleración de procesos también ha sido postulado por Trnka *et al.* (2009) para las zonas agroecológicas europeas.

Hacia el oeste y norte del país en función al balance hídrico que se produzca es posible el aumento del proceso de desertificación. Además, si se produjera un aumento del nivel del mar y en consecuencia del nivel de base de ríos y arroyos (Kokot, 2009), esto podría reflejarse en un aumento de la superficie de suelos hidrohalmórficos.

Los expertos también plantean la pérdida de territorio, como en nuestras costas donde el nivel del mar está creciendo a razón de cuatro centímetros por década, donde la costa sur de la Bahía de Samborombón, así como ciertas regiones al sur de Bahía Blanca, serían las más afectadas.

Es decir, que si contemplamos el impacto del cambio climático sobre el suelo, debemos tener en cuenta su influencia sobre las modificaciones que se producirían sobre la diversidad biológica (IPCC, 2008), sobre los agroecosistemas, los sistemas productivos y sobre los valores de mercado de las tierras.

Muchos también evalúan los problemas socio-económicos que pueden plantearse frente al cambio climático, como esto además puede afectar la flora y fauna de una región y de la necesidad de una producción más sustentable, sin embargo pocos son los que se plantean como será el efecto del cambio climático en los ambientes edáficos del país.

### Cambio en el balance hídrico

La cantidad de agua que ingresa al suelo puede ser evaluada desde distintos puntos de vista, por un lado condiciona el agua almacenada y por ende la posibilidad de producción agropecuaria, tanto en calidad como en cantidad de granos cosechados. Por otra parte los excesos ó déficits hídricos marcarán la evolución potencial de los suelos y la traslocación de diversos tipos de sustancias que van a perderse del sistema edáfico y llegar al agua subterránea.

En la Tabla 1 se presenta el balance hídrico actual de Hapludoles típicos representativos de la zona oeste de la provincia de Buenos Aires y en las Figuras 4 y 5, las curvas de excesos y almacenaje de las tres situaciones planteadas.

Para el balance hidrológico actual se encontró un déficit de agua en enero y diciembre y un exceso anual de 257mm, los excesos ocurren de mayo a octubre. La recarga de los suelos ocurre en otoño.

Tabla 1: Balance hidrico actual (periodo 1980-2006) para el oeste de Buenos Aires. (Cap. Camp.: 238 mm).

BALANCE HIDROLÓGICO CLIMÁTICO													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pp	138	113	133	77	59	77	87	76	81	100	90	93	1124
ETP	146	112	100	60	39	22	21	30	42	69	97	135	873
Kc	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ETPc	146	112	100	60	39	22	21	30	42	69	97	135	873
Pp-ETPc	-8	1	33	17	20	55	66	46	39	31	-7	-42	251
ALM	187	188	221	238	238	238	238	238	238	238	231	194	
D ALM	-6	1	33	17	0	0	0	0	0	0	-7	-37	
ETRc	144	112	100	60	39	22	21	30	42	69	97	130	867
DEF	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6
EXC	0	0	0	0	20	55	66	46	39	31	0	0	257



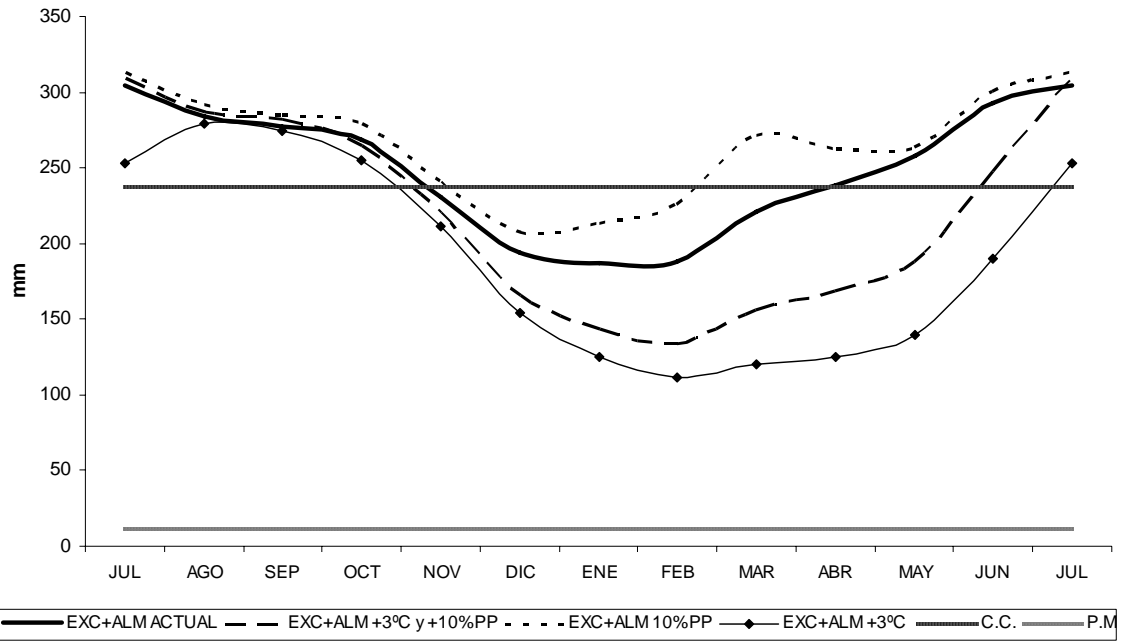


Figura 4: Variación anual del almacenaje excesos de agua en el suelo

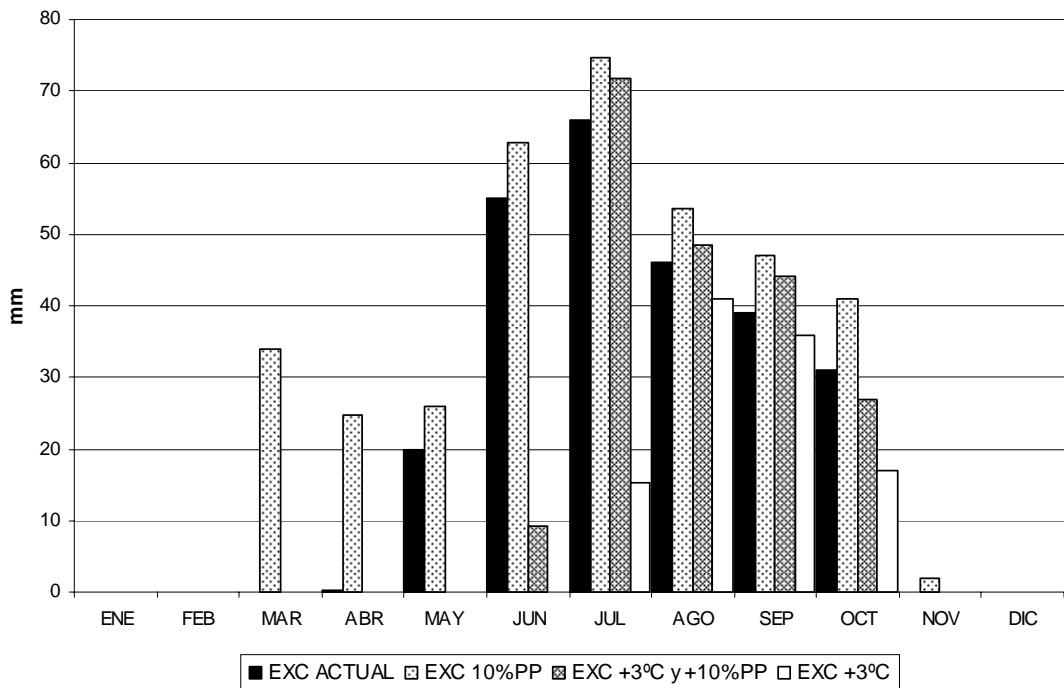


Figura 5: Comparación entre los excesos hídricos según las situaciones climáticas evaluadas

La situación estimada hacia el año 2080, con un aumento del 10% en las precipitaciones, arrojó un déficit no significativo en diciembre y un exceso de 366mm anual durante los meses de marzo a noviembre. Esto es un aumento de 30% en el agua que abandona el perfil y percola hacia el acuífero freático. Este aumento produce intensificación de la pérdida de materiales del suelo, y podría aumentar la productividad de los cultivos en la zona por la mayor disponibilidad del recurso hídrico.

Si el aumento fuera de 3°C en la temperatura y las precipitaciones fueran iguales a las actuales el exceso de agua será de 109 mm, lo que implica graves problemas de abastecimiento de agua para los principales cultivos y una disminución importante de la recarga de agua para los acuíferos.

En la situación combinada de aumento de 3°C en la temperatura y de 10% en las precipitaciones, el exceso de agua sería de 201 mm/año. En enero habría déficits de agua (12 mm) mayores a las actuales, hay excesos de 27 mm de agua en octubre y hay equilibrio en los meses de noviembre y diciembre, coincidiendo por lo encontrado para la región pampeana por Nuñez et al (2005) Actualmente hay déficits de humedad de noviembre a mayo, en el escenario A2 los sería entre noviembre a junio.

Por todo lo expuesto se deberá tener en cuenta la transición a los cambios que se avecinan para ajustar las prácticas de producción hacia la nueva situación hidrológica.

## **CONCLUSIONES**

Para los escenarios climáticos evaluados, los cambios en la temperatura y precipitaciones producirían cambios en las propiedades de los suelos y la velocidad con las que estas ocurren. Posiblemente se pierdan suelos Molisoles que evolucionarían a Alfisoles y Ultisoles según las condiciones de equilibrio ecológico final al que se llegue.

En condiciones un aumento del agua que infiltra incrementaría la lixiviación de sales, MO, bases, metales, arcillas y demás componentes del suelo hacia horizontes más profundos y hacia la capa freática.

Para el Hapludol, la situación combinada de aumento en 3°C en la temperatura y 10% en las precipitaciones producirían un exceso de agua de 201 mm/año, menor a la actual, generando menor recarga de acuíferos.

Por otro lado se introducirían modificaciones en los sistemas productivos, dadas en parte por modificaciones en los rendimientos, modificaciones en la forma de realizar las producciones, en el esquema de producción planteado, pudiendo incluir modificaciones en la producción agrícola (diversificación de cultivos, rotaciones, manejo del suelo) y en la producción pecuaria. Habría que considerar entonces cuál sería el impacto sobre los productores y la capacidad que tendrían los mismos de adaptarse a estos cambios. No hay que olvidar que se trata de modificaciones dentro de un agroecosistema, el cual es el producto de la interacción entre los recursos destinados a una producción y el hombre que se inserta en él haciendo un uso del mismo.

De todas maneras, las estimaciones sobre escenarios futuros con respecto al cambio climático son una herramienta valiosa, la cual, debe ser analizada y evaluada junto a las demás variables del sistema a la hora de tomar decisiones ambientales y productivas que puedan afectar, ya sea, al recurso edáfico como al hídrico.

No debe dejarse de tener en cuenta que los modelos de cambio climático presentan incertidumbre, por lo que aquí expresado constituyen especulaciones o ejercicios intelectuales de lo que podrá llegar a suceder en este siglo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con el proyecto el UBACyT G420.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ R., LAVADO RS. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma* 83: 127-141.
- BARROS V. 2004. El cambio climático. Ed. El Zorzal, Buenos Aires, 172pp.
- CAMILLIONI, I. y BARROS, V. 2009. Escenarios climáticos futuros para el sur de Sudamérica a partir de modelos climáticos globales. En: Desafíos del cambio climático y global en la Argentina. Ed. Eudeba, 205-206 pp.
- CIARLO, E. COSENTINO, D., HEREDIA, O. y CONTI, M. 2004. Efecto del uso del suelo sobre fracciones de la materia orgánica y cantidad de agregados estables. *Revista Científica Agropecuaria*, 8 (2): 15-23.
- FERNÁNDEZ LONG M. E, BARNATÁN, I.E., SPESCHA, L.B., HURTADO, R. y MURPHY, G.M. 2005. Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. *Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 25 (3), 247-257.
- HEREDIA, O., GIUFFRÉ, L., GORLERI, F.J. y CONTI, M. 2006. Calidad de los suelos del norte de Santa Fe. Efecto de la geomorfología y el uso de la tierra. *Revista C. del Suelo* Nº 24 (2): 109-114.
- HEREDIA, O., PASCALE, C. y TELECHEA, P. 2006. Comportamiento químico de un Hapludol y un Argiudol bajo anegamiento en el noroeste de Buenos Aires. *Revista Facultad de Agronomía*, UBA, 26(1): 47-52.
- HERNIQUEZ, C., CALBACETA, G., BERTECH, F. y ALVARADO, A. Suelos de Costa Rica. A. Costarricense de la Ciencia del Suelo. En: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/suelos-cr.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html)
- HULME M. y SHEARD, N. 1999. Climate change scenarios for Argentina. Climate Research unit, UEA, Norwich UK, 10pp.
- HURTADO, R. 1991. Balance hidrológico climático con coeficientes de cultivo. BALUBA, versión 1.0. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola, FAUBA.
- HUSZÁR T.; MIKA, J., LÓEZY, D., MOLNAR, K. and KERTÉZ, A. 1999. Climate change and soil moisture: a case study. *Phy. Chem. Earth*, 24(10): 905-912.
- IPCC. 2007. Climate change. Synthesis report. Disponible en: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf): 114 pp. PNUMA
- IPCC. 2008. Cambio climático y agua. PNUMA, 224 pp.
- JENNY, H. 1941. Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. Ed. McGraw-Hill, New York, 281 pp.
- KOKOT, R.R. 2009. Como los cambios del nivel del mar afectaran las costas argentinas. En: Desafíos del cambio climático y global en la Argentina. Ed. Eudeba, 135-137 pp.
- LEVA, PE. y AGUIAR, M. 2009. Estudio de la variación regional agroecológica y genética de gramíneas patagónicas para revertir el deterioro forrajero y remediar los efectos del cambio climático. En: Desafíos del cambio climático y global en la Argentina. Ed. Eudeba, 281-282 pp.
- MURPHY, G. 2009. Desafíos del Cambio Climático y Global en Argentina: Primeras Jornadas Interdisciplinarias de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático. EUDEBA. Buenos Aires, 400 pp.

- NUÑEZ, M.N., SOLMAN, S., CABRE, M.F., y ROLLA, A. 2005. Estimación de escenarios regionales de cambio climático mediante el uso de modelos climáticos regionales. Informe final CIMA/CONICET B-9 Modelos climáticos regionales. GEF BIRF PF 51286 AR.
- SERIO, L. 2006. El cambio climático global. *Revista de la Facultad de Agronomía* 26 (3): 275-289.
- SEOANE, R. 2009. Aplicación de modelos hidrológicos y la evaluación del impacto del calentamiento global sobre componentes del ciclo hidrológico. En desafíos del cambio climático y global en la Argentina. Eudeba, Buenos Aires, 145-147 pp.
- SIERRA E. y PEREZ, S. 2006. Tendencias del régimen de precipitación y manejo sustentable de los agroecosistemas: estudio de un caso en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista de Climatología* 6: 1-12.
- SPESCHA L., MURPHY, G., HURTADO, R. y FERNANDEZ LONG, M. 2009. Evidencias del cambio climático sobre las variables agrohidrológicas en la región oriental de secano (Argentina)", XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia 23 a 25 de setembro de 2009 - Bello Horizonte, Brasil
- TRNKA M., EITZINGER, J., HLAVINA, P., DUBROVSKY, M., SEMERADOVA, D., STEPANEK, P., THALER, S., ZALUD, Z., MOZNY, M. y FORMAYER, M. 2009. Climate-driven changes of production regions in central Europe. *Plant Soil Environ.* 55 (6): 257-266.

# LA SITUACIÓN HÍDRICA DE LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS SOBRE LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA

*The water soil in the last 30 years on the Pampeana Argentina Region*

Vanina L. Ferrero\*<sup>1 y 2</sup>, Marcela H. González<sup>1 y 2</sup>,  
Leonardo Serio<sup>3</sup> y Rafael Hurtado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CONICET/UBA)

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEN-UBA)

2º piso, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, 1428, CABA, Argentina

<sup>3</sup> Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas (FAUBA)

\*ferrero@cima.fcen.uba.ar

## RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo es analizar la ocurrencia de excesos y déficits hídricos y su distribución espacial en escalas temporales anual y estacional (verano, invierno, primavera y otoño) en la región pampeana, durante el período 1971-2006. Se utilizaron datos mensuales de precipitación acumulada y temperatura media para realizar un balance hídrico seriado, aplicando una metodología derivada de la de Thorhnwaite y Matter. Se calculó el déficit/exceso acumulado estacionalmente y anualmente, obteniendo que en verano los excesos son pequeños y están centrados en el norte de Buenos Aires mientras que hacia el sur se verifican los máximos déficits del orden de los 100 mm, en cambio durante el invierno los excesos son mayores (aproximadamente 100 mm) en el este de la región y disminuyen hacia el oeste, con marcado gradiente zonal, hasta déficits de 30 mm en la parte más occidental. En primavera el campo espacial se asemeja al del invierno pero con excesos más intensos en la zona oriental, mientras que en otoño se observa un gradiente noreste-sudoeste con excesos en el noreste y déficits en el sudoeste. El patrón anual muestra exceso en el este y disminución paulatina hacia el noroeste y el sudoeste. El porcentaje de años en los cuales se registraron déficits invernales supera el 50% en todo el oeste de la región mientras que en verano dominan en el norte y sur. El porcentaje de años con exceso supera el 40% en el centro y norte del área en verano y en el este en invierno.

**Palabras Clave:** situación hídrica, precipitación, evapotranspiración, excesos y déficits.

## SUMMARY

One of the main aims of this paper is to analyze the occurrence of water excess and deficit in soils, its spatial distribution in annual and seasonal (summer, winter, autumn and spring) scales, in the Pampas Plains of Argentina, during 1971-2006. Monthly rainfall and temperature data were used to perform a sequential water balance using Thorhnwaite and Matter method. Regarding the annual and seasonal water excess and deficit in soils that were calculated, it could be concluded that the water excess are small and located specially in the north of Buenos Aires in Summer, meanwhile the maximum deficits, approximately of 100 mm, were located in the southern part of Buenos Aires in Winter. In Winter, the water excess are greater (100 mm, approximately) in the east of the study region and they decrease towards the west, with an important zonal gradient, and water deficits of 30 mm are reached in most western area. In spring the pattern is

similar to the winter but with more intense water excess in the eastern area, meanwhile in autumn, a northeast-southwest gradient is observed with maximum in the northeast. The annual pattern shows excess in the east, diminishing towards northwest and southwest. The percentage of years with winter deficits were greater than 50% in the west meanwhile in summer they were located in the south and north of the study region. The percentage of years with water excess is greater than 40%, in the center and north of the area, during summer and in the east during winter.

**Key words:** water soil, precipitation, evapotranspiration, excesses and deficits

## INTRODUCCIÓN

En la región pampeana se concentra entre el 90 y 95% de la producción nacional de cereales y oleaginosas. La economía de la región está plenamente relacionada con la actividad agrícola-ganadera, la cual depende en gran medida del clima y de su variabilidad. Por ejemplo, durante la campaña 2008-2009, la escasez de lluvias ocasionó la menor siembra de trigo, entre otros cereales, y las pérdidas fueron muy importantes.

La posibilidad de encontrar herramientas de diagnóstico que permitan evaluar si la precipitación será diferente a la normal esperada, provee innumerables beneficios a los tomadores de decisión en diversas áreas como son la hidrología (Cunha, 2003), las etapas de cultivo (Hammer et al., 2001), el control de las epidemias (Thompson et al., 2000), la provisión de energía, el transporte de combustibles y hasta para la industria del seguro (Murnane, 2004).

En el caso de la agricultura, es indispensable analizar la relación existente entre la situación hídrica del suelo y la precipitación, sobre todo en las llanuras argentinas donde la pendiente media es de 0.25 por mil, decreciendo en altura desde el oeste hacia el este. La lluvia tiene pocas posibilidades de escurrir superficialmente y por lo tanto la transferencia vertical (evaporación-infiltración) resulta más importante que el escurrimiento superficial y debido a ello la zona se inunda con facilidad. Muchos esfuerzos se han realizado para mejorar las técnicas de cómputo del balance hídrico y aplicaciones del mismo (Pascale y Damario, 1977; Spescha y Forte Lay, 2002; Spescha et al., 2004). Tanco y Kruse (2001) estudiaron la fluctuación del nivel freático al este de la provincia de La Pampa y al nordeste de la de Buenos Aires y presentaron un modelo sencillo para pronosticar la precipitación estacional conociendo los campos de temperatura de la superficie del mar en el Océano Pacífico. Otros autores estudiaron la variabilidad de los períodos húmedos y secos (Penalba y Vargas, 2001) y la variabilidad de baja frecuencia de la precipitación (Castañeda y Barros, 1994; 2001; Minetti y Vargas, 1998). En Argentina subtropical, la frontera agrícola se desplazó significativamente (Barros, 2006), lo que motivó que esta región haya sido señalada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático como la de mayor incremento porcentual de la precipitación (23%) a lo largo del último siglo (IPCC, 2007). Sin embargo, la variabilidad interanual es muy grande. Períodos húmedos y secos han tenido lugar alternadamente, tal como los describió Florentino Ameghino (1884), hace ya más de un siglo. Los períodos húmedos son normalmente seguidos de épocas secas, como ocurrió en la temporada 2007-2008 en amplias zonas de Argentina.

El objetivo del presente trabajo es cuantificar la situación hídrica media en la región pampeana argentina durante los últimos 30 años, analizando los déficit/excesos ya sea a escala temporal anual como estacional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos de precipitación mensual acumulada y temperatura media mensual para 25 estaciones pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional durante el período 1971-2006. Las estaciones para las cuales se realizó el estudio, se ubicaron en la región pampeana abarcada por Buenos Aires, Entre Ríos, sur de Santa Fe y este de Córdoba y La Pampa (Figura 1).

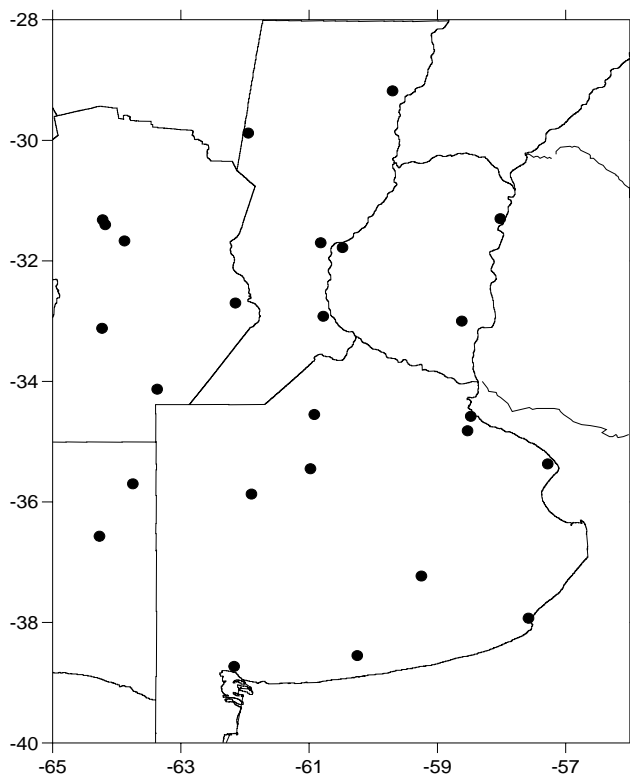


Figura 1: Ubicación de las 25 estaciones utilizadas para realizar el trabajo

La situación hídrica (excesos/déficits) fue estimada a partir del Balance Hidrológico Seriado (BHS), siguiendo una metodología derivada de la de *Thornthwaite y Mather (1955) (TM)*. Aunque *TM* sea una metodología generada varias décadas atrás, produce resultados muy buenos con un manejo matemático relativamente sencillo. Aplicado a valores mensuales no está prácticamente afectado por errores comprometedores en la interpretación de los fenómenos hídricos (Vargas, 1977). Muchos de los nuevos métodos necesitan información proveniente de mediciones más sofisticadas pero de difícil acceso. Los datos de entrada del BHS son la precipitación acumulada mensual y la evapotranspiración potencial mensual (ETP). La ETP fue calculada según la fórmula de *Thornthwaite (1948) (T48)* adoptada por su simplicidad y porque produce buenos resultados en diferentes regiones (Vargas y Levinsky, 1976). Para el cálculo de ETP se tiene en cuenta la temperatura media mensual y el índice calórico anual, según la expresión exponencial:

$$ETP_j = 16 * (10T_j/I)^a$$

donde  $ETP_j$  es la evapotranspiración potencial para el mes  $j$  con 12 horas de heliofanía y sus unidades son mm/mes,  $T_j$  es la Temperatura media mensual del mes  $j$ ,  $I$  es el índice calórico anual que se calcula como la suma de los 12 índices calóricos mensuales  $i_j$ , con

$$i_j = (T_j/5)^{1,514}$$

y  $a$  es una función cúbica en función de  $I$  con la siguiente expresión:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 0,01792 I + 0,49239$$

Los valores de ETP obtenidos con  $T48$  deben ser corregidos, según el número de horas diarias de insolación teórica y el número de días del mes, la latitud y época del año, a un mes tipo de 30 días y 12 horas de heliofanía, mediante la fórmula:

$$ETP_{jcorr} = ETP_j \cdot (N/12) \cdot (d/30)$$

donde  $ETP_j$  es la evapotranspiración potencial sin corregir,  $N$  cantidad de horas diarias de insolación teórica para el mes  $j$  y  $d$  es el número de días del mes  $j$ .

Con los datos de precipitación acumulada mensual y los datos calculados de  $ETP_{jcorr}$  se realizó el BHS para obtener la situación hídrica de la región de estudio. Este tipo de balance obtiene el almacenaje correspondiente a un mes a partir del almacenaje del mes anterior y de la necesidad y aporte de agua (ETP y PP) del mes en cuestión. Para comenzar a computar el balance se tomó como almacenaje inicial para el primer mes de la serie el 50% de la capacidad de campo, sabiendo con seguridad que la mecánica del balance corrige algún posible error inicial. La corrección se consigue en unos pocos meses, por lo que se despreció el primer año de cómputos para el posterior análisis de resultados. Luego se continuó con el cálculo del balance mes a mes para la serie disponible de 36 años, considerando que el almacenaje del mes de diciembre de cada año constituye el almacenaje anterior para el mes de enero del año siguiente. El valor del almacenaje para el mes  $j$ , será igual a la suma del almacenaje del mes  $j-1$  más la diferencia  $PP-ETP$ , siempre que ésta sea positiva. Cuando la diferencia sea negativa, el almacenaje del mes  $j$  se computará mediante la siguiente expresión exponencial:

$$Alm_j = Alm_{j-1} \cdot \exp((PP-ETP)/CC)$$

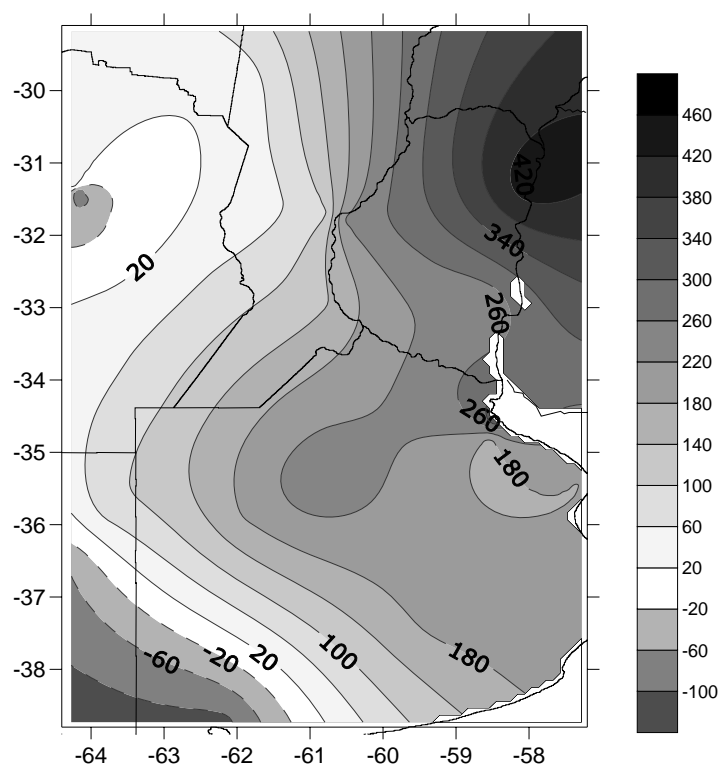
donde  $CC$  es la capacidad de campo.

Una vez realizados los cálculos para toda la serie, se obtiene para cada mes de los 35 años, una determinada situación hídrica que está representada por un exceso (valor de balance positivo), por un déficit (valor negativo) o por una situación de equilibrio (valor nulo), en cada una de las 25 estaciones. Para obtener un panorama espacial de la situación hídrica a escala temporal anual y estacional, se calculó para cada año de la serie y para cada estación el acumulado de la situación hídrica de forma anual y estacional, ya sea verano (DEF), otoño (MAM), invierno (JJA) y primavera (SON), obteniéndose de esta manera los campos medios espaciales de la situación hídrica. Por otro lado, se determinó para cada estación, el porcentaje de años con excesos/déficits, también a escala temporal anual y estacional.



## RESULTADOS

Los campos espaciales medios de la situación hídrica muestran en la zona de estudio, a escala temporal anual, excesos en toda la franja oriental, con valores que superan los 420mm en el Noreste, disminuyendo los mismos de forma paulatina hacia el centro, llegando a situación de déficit en el Sudoeste y Noroeste, los cuales son levemente inferiores a los 100 mm (Figura 2a). Los campos espaciales medios de escala temporal estacional, muestran para el verano (Figura 2b) un campo muy irregular con excesos pequeños y restringidos a regiones como por ejemplo el norte de Buenos Aires, mientras que los déficits son más importantes en cuanto a su intensidad y se ubican mayormente en el sur de la región con valores llegan a superar los 100 mm. Contrariamente a lo que pasa en verano, en invierno el campo de situación hídrica es más regular y con un marcado gradiente zonal (figura 2d).



2a

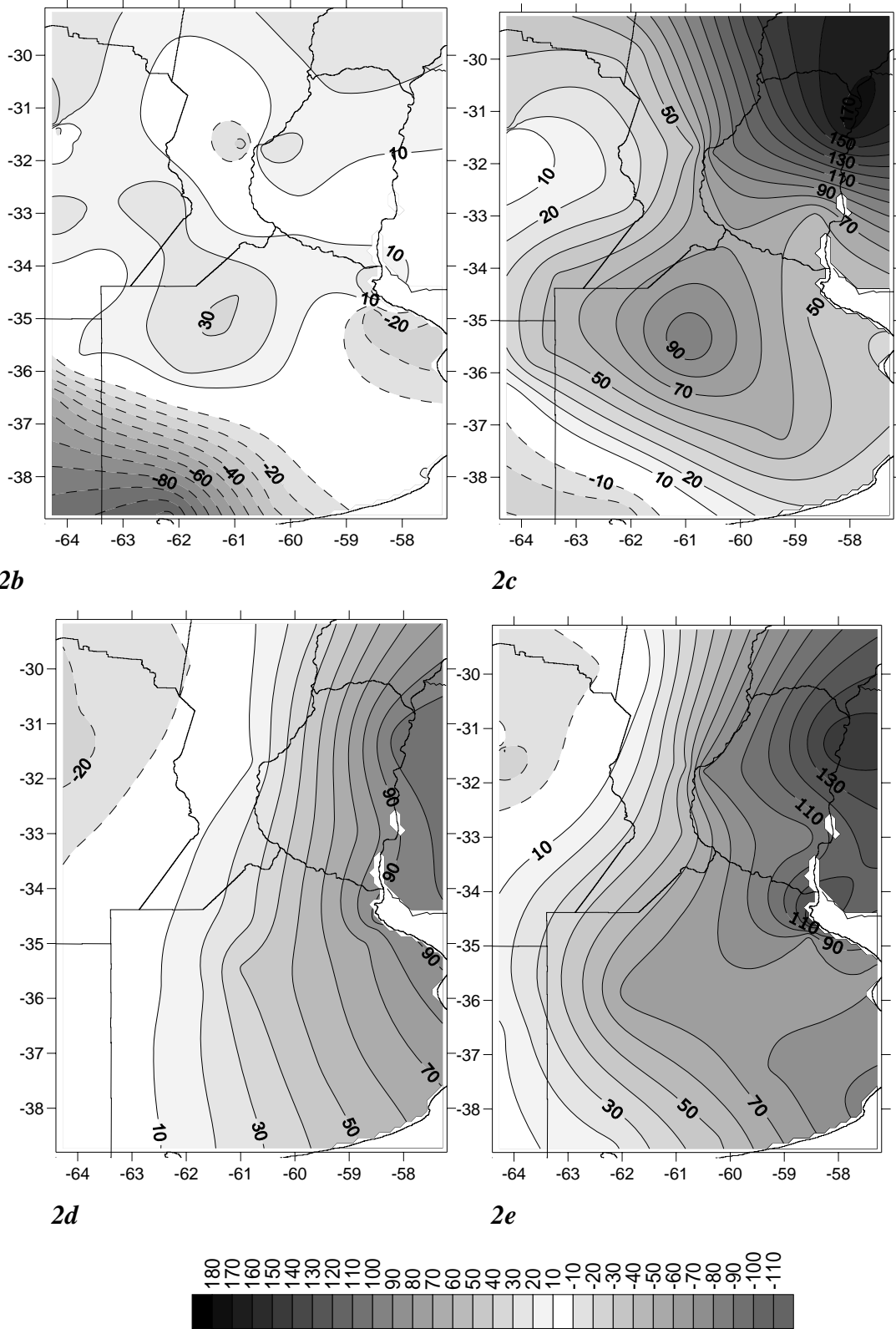
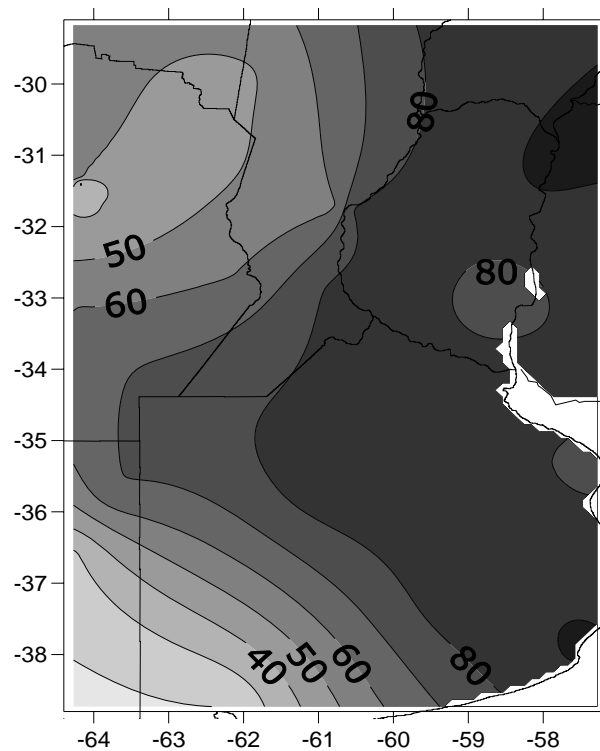


Figura 2: Situación hídrica (en mm) durante el período 1971-2006 para escala anual (2a), verano (2b), otoño (2c), invierno (2d) y primavera (2e). Las líneas sólidas (partidas) indican excesos (déficits) hídricos.

Los excesos dominan la región, observándose los mayores valores en el este (aproximadamente 100 mm), mientras que los déficits se concentran en la región occidental, con acumulados que apenas alcanzan los 20 mm. Para las estaciones de transición la situación hídrica también presenta un dominio de los excesos sobre los déficits, ya sea en intensidad como en extensión, pero con patrones algo diferente entre ambas estaciones. En primavera, el campo espacial muestra un comportamiento similar al de invierno, con excesos en el este, aunque más intensos que éstos (superiores a los 140 mm) y déficits que rondan los 30 mm, ubicados en el extremo noroeste (figura 2e). En otoño, el campo de la situación hídrica muestra un gradiente con dirección noreste-sudoeste, con los excesos en el noreste y los déficits en el sudoeste (figura 2c). Los excesos son mayores a los de primavera, se alcanzan valores superiores a los 170 mm, y los déficits muestran valores similares. En el análisis de la cantidad de años en que cada estación tuvo excesos/déficits, también desde el punto de vista anual y estacional, se encontró que a escala anual (Figura 3a), en más del 80% de los años se produjeron excesos en la franja oriental, mientras que en el noroeste y sudoeste se concentraron los mayores porcentajes de situación deficitaria, llegando a ser superiores al 50% (Figura 4a), panorama que se relaciona con los excesos y déficits observados en la Figura 2.



3a

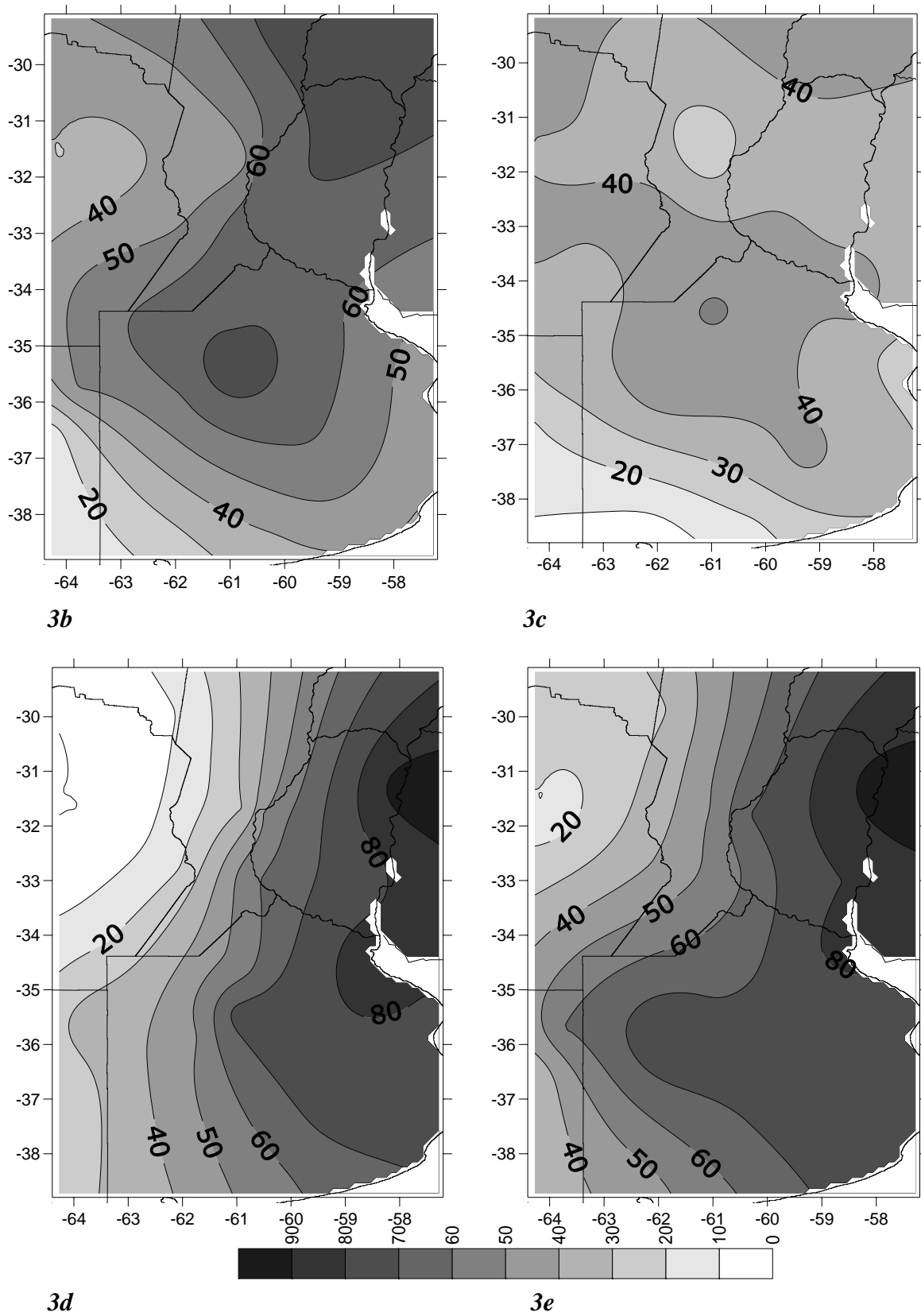
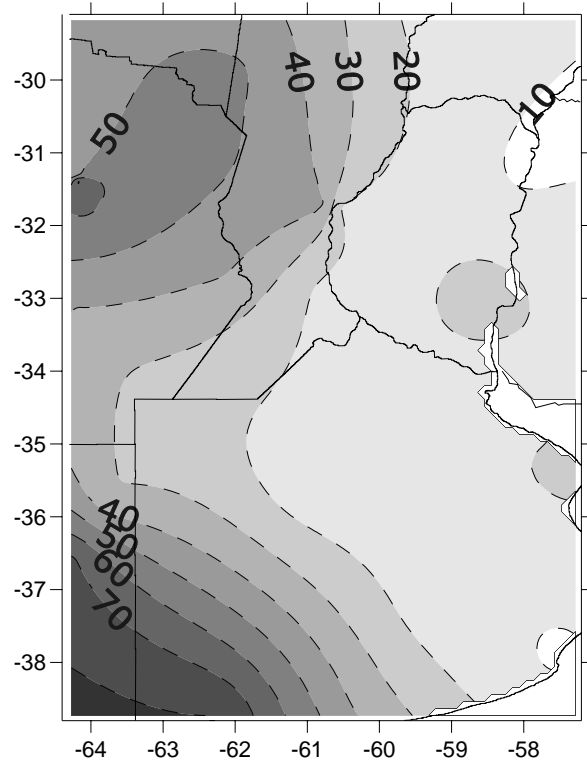
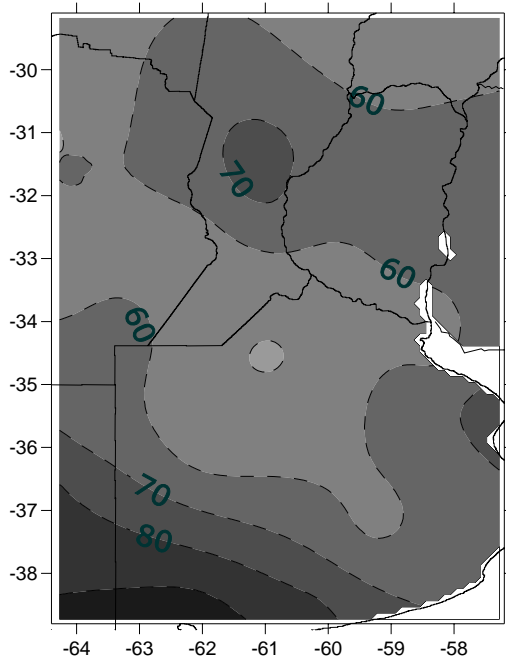


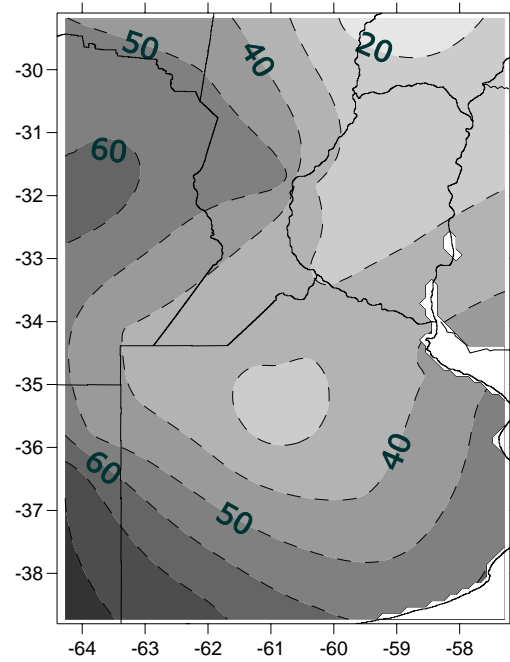
Figura 3: Porcentaje de excesos durante el período 1971-2006 para escala anual (3a), verano (3b), otoño (3c), invierno (3d) y primavera (3e).



4a



4b



4c

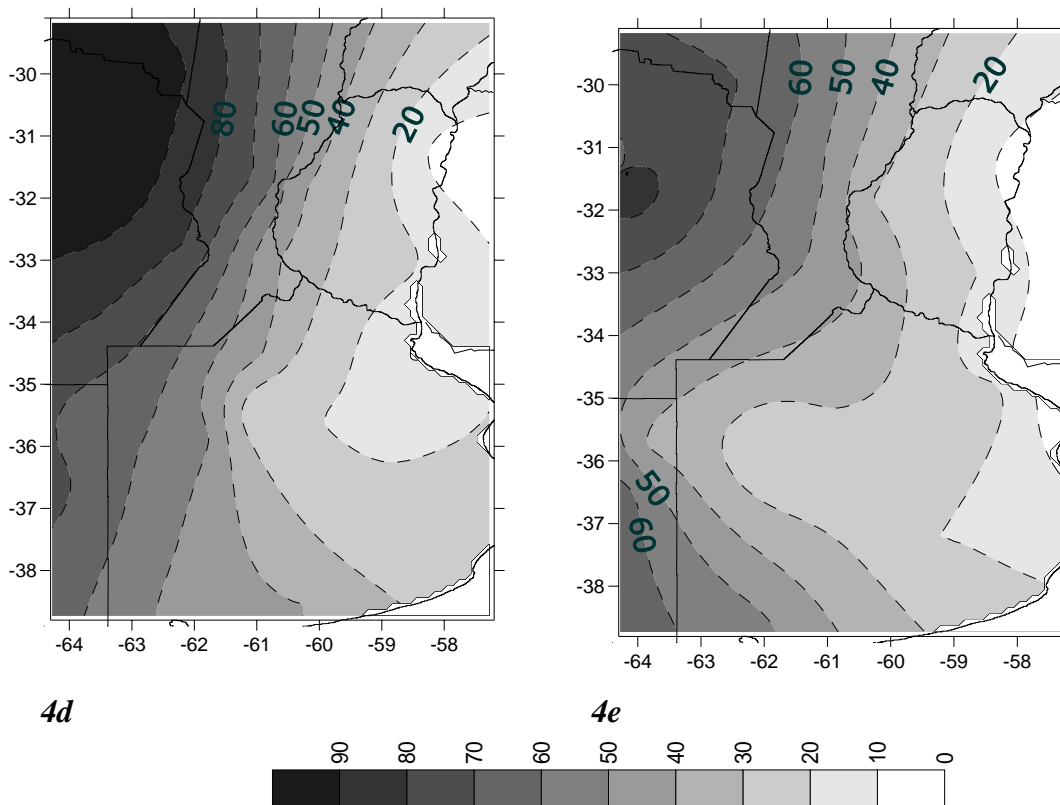


Figura 4: Porcentaje de déficits durante el período 1971-2006 para escala anual (4a), verano (4b), otoño (4c), invierno (4d) y primavera (4e).

El porcentaje de años con déficits invernales (Figura 4d) supera el 50% en todo el oeste de la región, a diferencia del verano (Figura 4b) en donde el porcentaje es igual superior al 50% en la totalidad de la región, registrándose la mayor cantidad de veranos con déficit en el sur (alrededor del 80%). En cuanto a los excesos, en invierno (Figura 3d), los mayores porcentajes se dieron en la mitad oriental (superior al 50%), mientras que en el noroeste los inviernos con excesos fueron menos al 10%. En verano (Figura 3b), la cantidad de excesos son inferiores, y la mayor parte de la región presenta porcentajes por debajo del 50%. Los excesos de primavera (Figura 3e) y otoño (Figura 3c) tuvieron mayor ocurrencia en el centro y este de la región, observándose los porcentajes más altos (superiores al 70%) en la primavera. Las otoños (Figura 4c) y primaveras (Figura 4e) deficitarios presentaron mayor porcentaje de ocurrencia en la franja occidental, pero con porcentajes menores a los de excesos, restringiéndose más precisamente al sur y sudoeste en otoño y al noroeste en primavera. Por lo tanto en primavera y otoño, son más importantes los excesos, no sólo en intensidad sino también en el porcentaje de ocurrencia.

## CONCLUSIONES

El análisis de la situación hídrica obtenida a partir del balance hidrológico seriado mostró que a escala anual los excesos son más intensos que los déficits los cuales sólo se restringen al sudoeste de la región y a un pequeño sector en el noroeste. El mayor porcentaje de años con excesos dominaron el este, mientras que los años deficitarios fueron mayores hacia el oeste. El otoño y la primavera fueron las estaciones donde los excesos fueron más importantes, no sólo desde el punto de vista de la intensidad, sino

también que estas estaciones fueron las que tuvieron los mayores porcentajes de ocurrencia de excesos. El campo de la situación hídrica se asemejó en ambas estaciones, ya que los excesos se ubicaron en el este y centro, pero con la diferencia de que los déficits dominaron en el sudoeste y sur en otoño, mientras que en primavera se observaron mayormente en el noroeste. El verano y el invierno tuvieron comportamientos disímiles en cuanto a la situación hídrica y a la ocurrencia de excesos y déficits. En verano el campo de excesos/déficits mostró un patrón muy irregular, pero con un sector bien definido de déficits ubicados en el sur de la región, los cuales fueron los más intensos de las cuatro estaciones, mientras que los excesos fueron los más débiles. En invierno se observó un gradiente bien marcado de dirección este-oeste, con los excesos en el este y centro y los déficits restringidos al oeste y de intensidad inferior. En verano fueron más frecuentes los déficit en toda la región, ya que los porcentajes de ocurrencia estuvieron aproximadamente por encima del 60%, mientras que en invierno los déficit fueron más frecuentes en el oeste de la región y los excesos tuvieron mayor porcentaje de ocurrencia en el sector oriental.

### **AGRADECIMIENTOS**

Al Servicio Meteorológico Nacional por los datos provistos. Este trabajo fue subsidiado por los proyectos UBACyT X444, UBACyT X160 y CONICET PIP 112-200801-0019

### **BIBLIOGRAFÍA**

- AMEGHINO, F. 1954. Sequías e Inundaciones en la provincia de Buenos Aires. *Publicación de la honorable Cámara de Diputados de la Nación Argentina*. Argentina.
- BARROS, V., 2006. Adaptation to Climate Trends: Lessons from the Argentine Experience. AIACC Working Paper N° 38. 40 p. <http://www.aiaccproject.org>
- CUNHA, M, 2003. Water system planning: the optimization perspectiva. *Eng. Optimization*, 35, 255-266.
- CASTAÑEDA, M.E. y BARROS, V. 1994. Rainfall trends in South America, east of Los Andes. *Meteorologica*. 19: 23-32.
- CASTAÑEDA, M. y BARROS, V. 2001. Rainfall trends in western Argentina. *Meteorologica*. 26: 5-23
- HAMMER, G.; HANSEN, J.; PHILLIPS, J.; MJELDE, J.; HILL, H. y POTGIETER, A. 2001. Advances in application of climate prediction in agriculture. *Agric.Syst.*, 70, 515-553.
- IPCC. 2007. Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, Febrero 2007
- MINETTI, J. y VARGAS, W. 1998. Trends and jumps in the annual precipitation in South America south of 15°S. *Atmosfera*, 11: 205-223, México.
- MURNANE, R. 2004. Climate research and Reinsurance. *BAMS*, 85, 697-707.
- PASCALE, A.J. y DAMARIO, E.A. 1977. El balance hidrológico seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*. LIII (1-2): 15-34
- PENALBA, O. y VARGAS, W. 2001. Propiedades de excesos y déficits de precipitación en zonas agropecuarias. *Meteorológica*, 26: 1-2, 39-56.
- SPESCHA L. y FORTE LAY, J. 2002. Impacto de La Niña en la reserva de agua edáfica en la región pampeana. *Rev. Argentina de Agrometeorología*, 2(1), 81-88.

- SPESCHA L.; FORTE LAY, J.; SCARPATI, O. y HURTADO, R. 2004. Los excesos de agua edáfica y su relación con el ENSO en la región pampeana. *Rev. Fac. de Agronomía*, 24 (2), 161-167.
- TANCO, R. y KRUSE, E. 2001. Prediction of seasonal water-table fluctuations in La Pampa and Buenos Aires, Argentina. *Hydrogeology Journal* 9: 339–347
- THOMPSON, M.; PALMER, T.; MORSE, A.; CRESSWELL, M. y CONNORS, S. 2000. Forecasting disease risk using seasonal climate prediction. *Lancet*, 355, 1559-1560.
- THORNTHWAITE, C. 1948. An approach towards a rational classification of climates *Geogr. Rev.* 38:55-94.
- THORNTHWAITE, C. y MATTER, J. 1955. The Water Balance. *Publications in Climatology VII*, Drexel Ins. Of Tech., New Jersey, USA, 104 pp.
- VARGAS, W. y LEVINSKY, A. 1976. Método de análisis de las condiciones hídricas mediante las técnicas de balance. *Informe Técnico N°6 INCyTH* 53pp.
- VARGAS, W. 1977. Incidencias teórico-prácticas del balance hídrico y propuesta de una mejor aproximación a la región húmeda argentina. *Publicación del Dpto. de Meteorología, FCEN, UBA.*



# INCERTIDUMBRE DEL CAUDAL DE DISEÑO ANTE CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS EXTERIORES DE LAS TORMENTAS

*Design streamflow uncertainty due to changes in external characteristics of rainfall*

Patricia M. López<sup>1</sup> y Rafael S. Seoane\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INA-CRA. Belgrano 210 oeste 3° Piso. Mendoza.  
pmlopez@ina.gov.ar

<sup>2</sup>FIUBA-INA-CONICET. Departamento de Hidráulica.  
Avenida Las Heras 2214 3° Piso.  
\*rseoane@fi.uba.ar

## RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivos proponer un conjunto de nuevas expresiones que permiten estimar el valor esperado del caudal máximo de una crecida y su intervalo de confianza y mostrar la importancia de sus variaciones considerando cambios en las características exteriores de las tormentas. La bibliografía sobre cambio climático indica como probables a muy probables los cambios en la duración, intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos. En consecuencia, resulta muy importante contar con nuevas formas de estimación de variables hidrológicas que faciliten el diseño de obras hidráulicas que contribuyan a mitigar estos posibles efectos adversos. La metodología desarrollada aplica distintas versiones de la teoría del hidrograma unitario instantáneo y permite evaluar como el aumento de la intensidad de la precipitación modifica las características del hidrograma de salida de una cuenca. La aplicación se realizó en la cuenca del río La Suela (Provincia de Córdoba) debido a la disponibilidad de datos de tormentas de corta duración. Los cambios en los hidrogramas se estudiaron considerando aumentos del 50 al 250% de la intensidad efectiva, donde la condición actual está representada por una relación Intensidad-Duración-Frecuencia de período de retorno dos años, suponiendo pérdidas porcentuales constantes para todas las duraciones. Los resultados muestran importantes aumentos en los caudales máximos del hidrograma de salida y disminuciones de los tiempos de ocurrencia de los máximos y de concentración de la cuenca. Las expresiones presentadas permiten estimar la incertidumbre de los caudales máximos, representar el comportamiento no lineal de los sistemas hidrológicos y lograr estimaciones iniciales de los probables cambios, posibilitando un planteo más racional de soluciones a los problemas relacionados con la intensificación de eventos extremos máximos.

**Palabras clave:** impacto cambio climático en caudales, cambios características exteriores tormentas, modelo de Nash.

## SUMMARY

Derived expressions to estimate the expected value of the peak flood event and its confidence intervals are presented to show variations due to changes in the external characteristics of rainfall. Changes in duration, intensity and frequency of extreme climate events are reported to be very likely; consequently it is important to be able to count on new estimation tools which contribute to mitigate the adverse consequences.

The derived method applies different versions of the instantaneous unit hydrograph theory allowing the assessment of changes in the response hydrograph characteristics due to an increase in rainfall intensity. The expressions are tested in La Suela river basin because short duration rainfall data was available. Based on increases of 50 to 250% of effective rainfall intensity the changes in the response hydrographs are studied. An intensity-duration-frequency relation for a two-year return period, with constant losses for all durations, is used to represent the present condition of effective rainfall intensity. The results show important increases in the peak and decreases in the time to peak and the basin concentration time. The derived expressions represent the nonlinear basin hydrological response and give an estimation of the peak uncertainty. They are useful to achieve initial estimations of likely changes in order to design mitigation plans.

**Key words:** climate change impacts on streamflow; changes in external characteristics of rainfall; Nash model.

## INTRODUCCIÓN

La precipitación es la principal causante de la variabilidad en el balance hidrológico, tanto en espacio como en tiempo, y sus cambios debidos al calentamiento global producirán alteraciones en la variable de salida de los sistemas hídricos. Las modificaciones de las características exteriores de las lluvias (altura precipitada y duración) y sus variaciones interanuales producirán modificaciones en la frecuencia de las crecidas.

Los modelos climáticos globales actuales no permiten predecir los cambios en la frecuencia de eventos intensos de precipitación, fundamentalmente debido a su baja resolución espacial que dificulta la simulación de condiciones locales. Los fenómenos climáticos extremos de pequeña escala, como pueden ser las tormentas convectivas y los tornados, no son simulados por los modelos climáticos globales y la información disponible es insuficiente para determinar como cambian estos procesos debido al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (Arnell *et al.*, 2001). Las proyecciones califican de probables a muy probables los cambios en la duración, intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos debidos al calentamiento global (Arnell *et al.*, 2001).

Las consecuencias directas del incremento de las lluvias intensas son: la ocurrencia de crecidas e inundaciones más frecuentes, el aumento de la erosión, el deslizamientos de laderas en zonas de gran pendiente, el incremento en la recarga de acuíferos, los daños a los ecosistemas, entre otras. Consecuentemente, aumentan las pérdidas y daños originando un aumento de la presión social al sector público para lograr medidas de remediación y protección. Por lo tanto, resulta importante contar con nuevas formas de estimación de variables hidrológicas que faciliten el diseño de obras hidráulicas que contribuyan a mitigar estos posibles efectos adversos.

En este trabajo se presentan expresiones derivadas para el análisis de caudales máximos, basadas en la teoría del modelo del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfoclimático (HUIGC) desarrollada por Rodríguez-Iturbe *et al.* (1982a), que permiten aplicar el modelo de Nash (Nash, 1957) utilizando un enfoque probabilístico-determinístico.

Las expresiones fueron empleadas en la cuenca del río La Suela (Provincia de Córdoba), proporcionando una estimación de la incertidumbre de las características más

importantes del HUI y permitiendo evaluar cómo el aumento de precipitaciones intensas modifica las características más importantes del hidrograma de salida de la cuenca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo conceptual del hidrograma unitario instantáneo (HUI) de Nash (Nash, 1957) representa el proceso de transformación de la precipitación efectiva en caudal directo y es útil para resolver problemas de diseño de obras hidráulicas. Este modelo considera el comportamiento de la cuenca como una serie de embalses lineales ( $n$ ) con igual tiempo de permanencia en cada embalse ( $k$ ). Su forma analítica es la función de densidad de probabilidades Gamma, que expresada en función de los parámetros del modelo es:

$$h(t) = \frac{1}{k \Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \exp\left(-\frac{t}{k}\right) \quad (1)$$

Las características más importantes del HUI son el valor máximo  $q_p$  y el tiempo  $t_p$  y las relaciones analíticas para este modelo son:

$$t_p = k(n-1) \quad (2)$$

$$q_p = \frac{e^{1-n} (n-1)^{n-1}}{k \Gamma(n)} \quad (3)$$

Con el propósito de vincular  $q_p$  y  $t_p$  con las características geomorfológicas y climáticas de la cuenca, se utilizó el enfoque propuesto por Rosso (1984) y la función de densidad de probabilidades (fdp) de la velocidad correspondiente al pico de la respuesta de la cuenca definida en la teoría del HUGC (Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1982a). La aplicación de la técnica de distribución derivada permitió determinar las fdp de  $q_p$  y  $t_p$ , utilizando las mismas consideraciones de Rodríguez-Iturbe *et al.* (1982a). Las funciones obtenidas son:

$$f(q_p) = \frac{5}{2} A q_p^{1.5} \exp(-A q_p^{2.5}) \quad (4)$$

$$f(t_p) = \frac{5}{2} \frac{M}{t_p^{3.5}} \exp\left(-\frac{M}{t_p^{2.5}}\right) \quad (5)$$

donde:

$$A = \left(\frac{0.7 \Gamma(n) L_\Omega}{e^{1-n} (n-1)^{n-1}}\right)^{2.5} \left(\frac{R_A}{R_B R_L}\right)^{1.2} \frac{1}{i_r A_\Omega \alpha_\Omega^{1.5}} \quad (6)$$

$$M = (0.7 L_\Omega (n-1))^{2.5} \left(\frac{R_A}{R_B R_L}\right)^{1.2} \frac{1}{i_r A_\Omega \alpha_\Omega^{1.5}} \quad (7)$$

Las expresiones anteriores están en función de la intensidad de la precipitación efectiva ( $i_r$ ), las relaciones de orden de Horton de áreas ( $R_A$ ), de bifurcación ( $R_B$ ), de longitudes ( $R_L$ ), la longitud media del curso de mayor orden ( $L_\Omega$ ), el área de la cuenca ( $A_\Omega$ ), el parámetro del modelo de onda cinemática curso de mayor orden ( $\alpha_\Omega$ ), siendo  $\Omega$  el orden de la cuenca.

La determinación de los momentos de primer y segundo orden de las fdp de  $q_p$  y  $t_p$  permiten obtener una medida de la incertidumbre asociada a la estimación del HUI. Las expresiones de las esperanzas y varianzas son:

$$E(q_p) = \frac{0.8873}{A^{0.4}} \quad (8)$$

$$\sigma_{qp}^2 = \frac{0.1442}{A^{0.8}}$$

$$E(t_p) = 1.4892 M^{0.4} \quad (9)$$

$$\sigma_{tp}^2 = 2.3731 M^{0.8}$$

Para una tormenta de intensidad efectiva  $i_r$ , se puede estimar  $q_p$  y  $t_p$  en función de las características geomorfológicas de la cuenca como:

$$q_p = \frac{1}{A^{0.4}} \quad (10)$$

$$t_p = M^{0.4} \quad (11)$$

El HUI permite obtener el hidrograma de salida de una cuenca mediante su convolución con la precipitación efectiva. Si las estimaciones de  $q_p$  y  $t_p$  son adecuadas la forma del HUI no es crítica y una aproximación, suficientemente satisfactoria, puede ser la triangular (Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1982b). La relación entre las características del HUI triangular y el hidrograma de salida fueron definidas por Henderson (Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1982b; Bras, 1990). El caudal máximo del hidrograma ( $Q_p$ ) producido por una precipitación efectiva de intensidad constante  $i_r$  y duración  $t_r$  es:

$$\frac{Q_p}{Q_e} = \frac{2 t_r}{t_b} \left( 1 - \frac{t_r}{2 t_b} \right) \quad (12)$$

donde  $Q_e$  es el caudal de equilibrio,  $t_b$  el tiempo base del HUI triangular, igual al tiempo de concentración de la cuenca ( $t_c$ ). La ecuación (12) es válida para duraciones  $t_r \leq t_b$  y el caudal de equilibrio es  $Q_e = i_r A_\Omega$ .

Para forma triangular del HUI,  $q_p \times t_p = 2$  y la ecuación de  $Q_p$  puede describirse como:

$$\frac{Q_p}{Q_e} = t_r q_p \left( 1 - \frac{t_r q_p}{4} \right) \quad (13)$$

Para eventos de duraciones mayores a  $t_b$  el caudal máximo es  $Q_p = i_r \times A_\Omega$ . El tiempo de ocurrencia del caudal máximo del hidrograma de salida ( $T_p$ ) puede calcularse para duraciones  $t_r \leq t_b$  según la expresión aproximada obtenida por Rodríguez-Iturbe *et al.* (1979) en función de la duración de precipitación efectiva  $t_r$  y del tiempo de ocurrencia del máximo del HUI ( $t_p$ ) como:

$$T_p = t_p + 0.75 t_r \quad (14)$$

Las ecuaciones anteriores son útiles ya que permiten estimar, sin convolución, las características más importantes del hidrograma de salida de una cuenca,  $Q_p$  y  $T_p$  para un evento de precipitación efectiva  $i_r$  y duración  $t_r$ .

Con el propósito de estudiar cómo la incertidumbre en la estimación de  $q_p$  influye en la estimación de  $Q_p$ , se obtuvieron expresiones de la esperanza y la varianza. Las nuevas expresiones derivadas son:

$$E(Q_p) = Q_e t_r \mu_{qp} - \frac{Q_e t_r^2}{4} (\sigma_{qp}^2 + \mu_{qp}^2) \quad (15)$$

$$\sigma_{Q_p}^2 = Q_e^2 t_r^2 \left[ \frac{0.1442}{A^{0.8}} + \frac{t_r}{2} \left( \frac{0.5621 t_r}{8 A^{1.6}} - \frac{0.2754}{A^{1.2}} \right) \right] \quad (16)$$

## RESULTADOS

Las expresiones derivadas en este trabajo se utilizaron con el propósito de evaluar cómo el aumento de fenómenos intensos de precipitación modifica las características más importantes del hidrograma de salida de una cuenca. La cuenca del río La Suela (Provincia de Córdoba) se seleccionó como caso de estudio, debido a la disponibilidad de observaciones de precipitación efectiva y caudal directo (Caamaño Nelli y Dasso, 1983). Los eventos de precipitación que se desarrollan en la cuenca son convectivos y sus crecientes, dadas las características de fuertes pendientes y escasa vegetación, son repentinas y de corta duración. Sus características geomorfológicas (Caamaño Nelli y Dasso, 1983) son:  $R_A = 4.78$ ,  $R_B = 3.69$ ,  $R_L = 1.80$ ,  $L_\Omega = 12.16$  km,  $A_\Omega = 130.6$  km<sup>2</sup>,  $\alpha_\Omega = 0.517$  s<sup>-1</sup> m<sup>-1/3</sup>, siendo el orden de la cuenca  $\Omega = 5$ .

El análisis de la capacidad de las expresiones derivadas para representar la respuesta de la cuenca para tormentas observadas se realizó utilizando cinco eventos de duración de precipitación efectiva entre 15 y 60 minutos. Los resultados muestran que las diferencias entre las estimaciones de  $Q_p$  obtenidas mediante la convolución del HUI del modelo de Nash y las derivadas con la forma triangular del mismo no son significativas, mientras que los valores de  $T_p$  estimados con la ecuación aproximada (Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1979) y los obtenidos mediante la convolución del HUI del modelo de Nash, si bien son semejantes, presentan diferencias con respecto a los valores observados más importantes. En la Figura 1 se presentan dos ejemplos de los ajustes obtenidos.

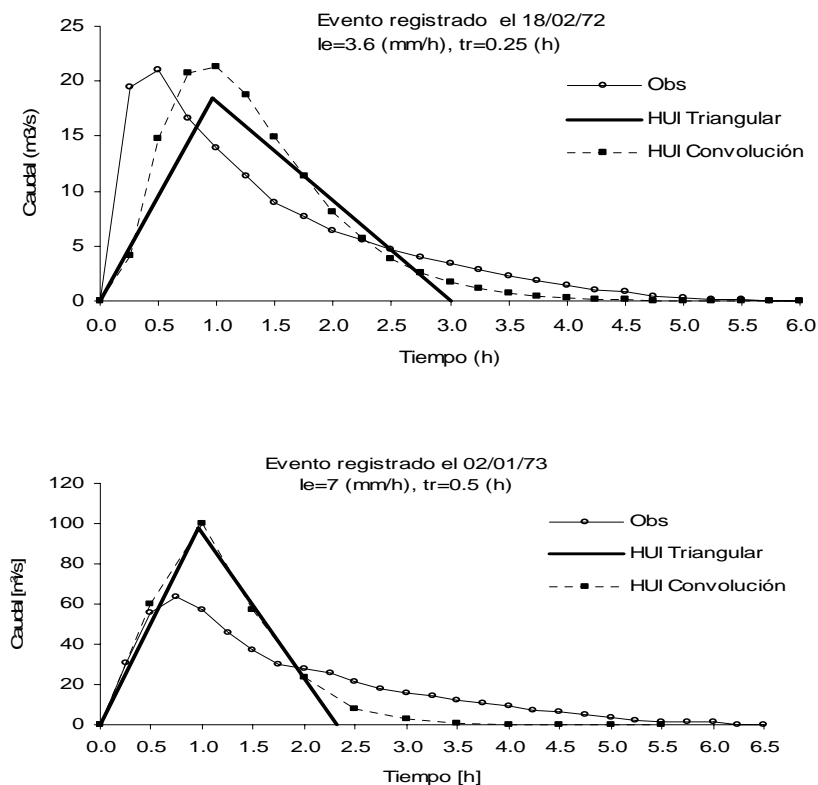


Figura 1. Hidrogramas observados y simulados.

Los cambios en las características del hidrograma de salida se estudiaron considerando incrementos del 50 al 250% de la intensidad efectiva, donde la condición actual está representada por una relación Intensidad Duración Frecuencia de período de retorno dos años con pérdidas porcentuales constantes para todas las duraciones. Como no se contaba con información que permitiera determinar las curvas IDF, se utilizaron relaciones representativas de regiones semiáridas (Figura 2), como son las de Santa Rosa (Provincia de La Pampa) (Mauriño, 2004) y las del piedemonte mendocino (INA, 2008). Estas últimas relaciones se emplearon a fin de lograr una representación de la importancia de los experimentos planteados (Figura 3).

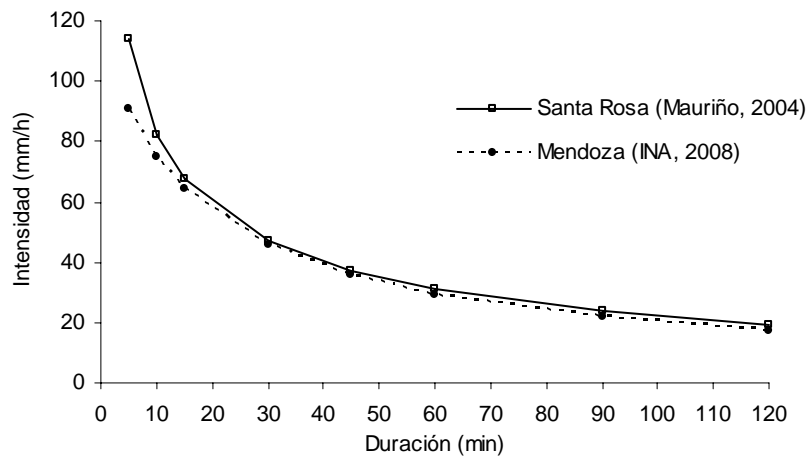


Figura 2. Relaciones IDF período de retorno dos años.

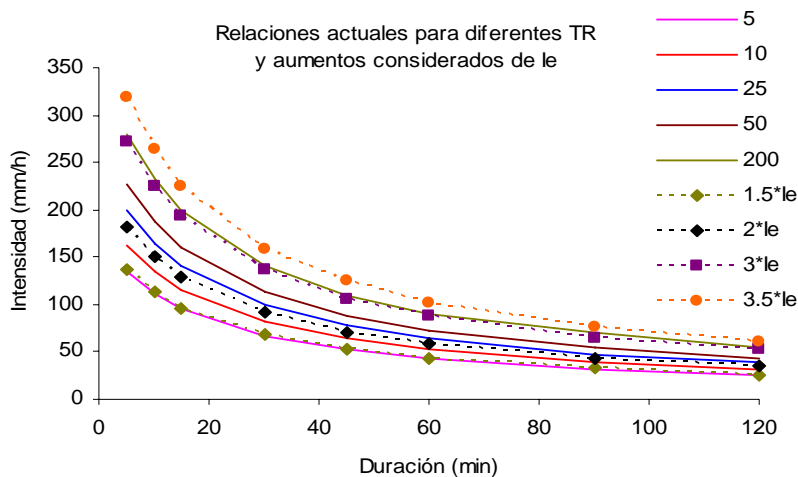


Figura 3. Comparación entre las condiciones actuales y los incrementos considerados.

La aplicación de las relaciones derivadas en este trabajo permitió estudiar cómo el incremento de eventos intensos modificaba las características del hidrograma. Los resultados muestran la importancia de los aumentos en los caudales máximos (Figura 4), en la incertidumbre de los mismos (Figura 5) y en las velocidades de la onda de la crecida (Figura 6), y de las disminuciones de los tiempos de ocurrencia de los máximos y del tiempo de concentración de la cuenca (Figura 7).

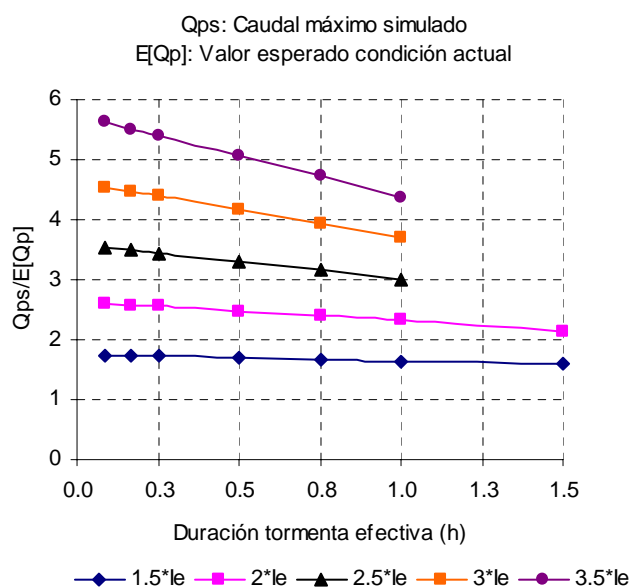


Figura 4. Variación caudales máximos.

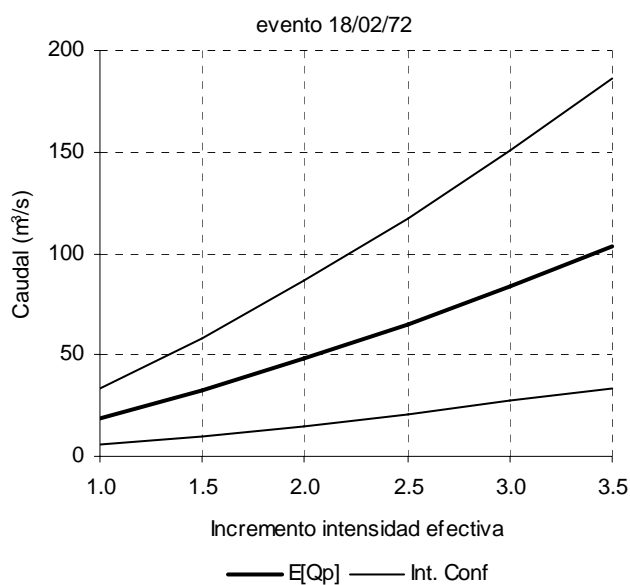


Figura 5. Variación en la incertidumbre de la estimación del caudal máximo.

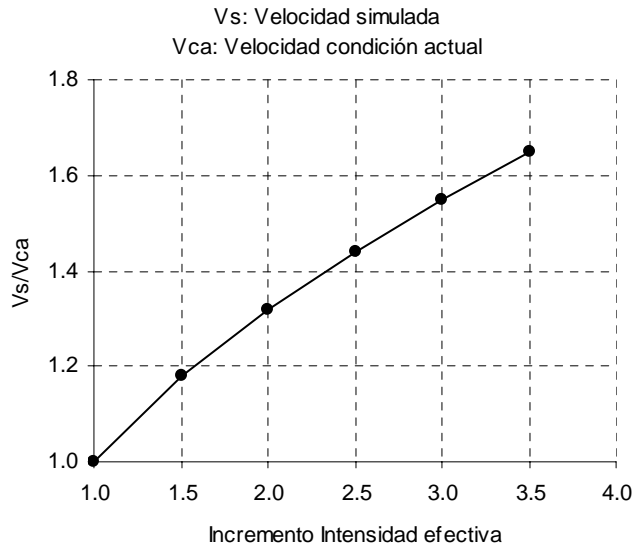


Figura 6. Variación velocidades del caudal máximo del hidrograma.

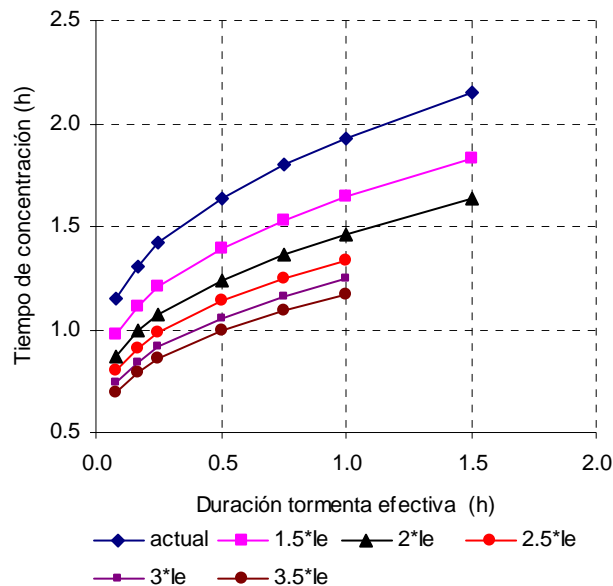


Figura 7. Variación tiempo de concentración de la cuenca.

### CONCLUSIONES

Las expresiones derivadas emplean un enfoque probabilístico-determinístico para la representación del proceso precipitación-caudal, permitiendo obtener hidrogramas en función de información geomorfológica y climática, lo que resulta particularmente útil en cuencas con datos hidrológicos escasos. Además, estas relaciones permiten estimar la incertidumbre de los caudales máximos y representar el comportamiento no lineal de los sistemas hidrológicos. En este estudio se emplearon para analizar los cambios en las características más importantes del hidrograma de salida de una cuenca debidos al aumento de fenómenos intensos de precipitación. Los resultados muestran que estas expresiones pueden ser utilizadas para lograr estimaciones iniciales que pueden ser



utilizadas en el planteo de soluciones a problemas relacionados con la intensificación de eventos extremos máximos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ARNELL, N.; LIU, C.; COMPAGNUCCI, R.; DE CUNHA, L. ; HANAKI, K.; HOWE, C.; MAILU, G.; SHIKLOMANOV, I. y STAKHIV, E. 2001. Hydrology and water resources. Pp. 195-200 en: McCarthy, J. J., O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken, K. S. White (eds.). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- BRAS, R.L. 1990. Concepts of fluvial geomorphology. Pp. 598 en: *Hydrology an Introduction to Hydrologic Science*. Addison -Wesley Publishing Company, Inc.
- CAAMAÑO NELLI, G. y DASSO, C. M. 1983. Geomorfología aplicada a sistemas hidrológicos lineales. Verificación y comparación de Hidrogramas Unitarios Instantáneos de base geomorfológica. *XI Congreso Nacional del Agua*.
- INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA (INA), 2008. Relaciones IDF para el piedemonte del Gran Mendoza. [www.ina.gov.ar](http://www.ina.gov.ar).
- MAURIÑO, M.F. 2004. Generalized rainfall-duration-frequency relationships: Applicability in different climatic regions of Argentina. *Journal of Hydrologic Engineering* 9: 269–274.
- NASH, J.E. 1957. The form of the instantaneous unit hydrograph. *International Association for Scientific Hydrology. Assemblée Générale de Toronto*. Tomo III, 114-121.
- RODRÍGUEZ-ITURBE, I.; DEVOTO, G. y VALDÉS, J. B. 1979. Discharge response analysis and hydrologic similarity: The interrelation between the geomorphologic IUH and storm characteristics. *Water Resour. Res.* 5 (6): 1435-1444.
- RODRÍGUEZ-ITURBE, I., GONZÁLEZ-SANABRIA, M. y BRAS, R.L. 1982a. The geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph. *Water Resour. Res.* 18 (4): 877-886.
- RODRÍGUEZ-ITURBE, I.; GONZÁLEZ-SANABRIA, M. y CAAMAÑO, G. 1982b. On the climatic dependence of the IUH: A rainfall-runoff analysis of the Nash model and the geomorphoclimatic theory. *Water Resour. Res.* 18 (4): 887-903.
- ROSSO, R. 1984. Nash model relation to Horton order ratios. *Water Resour. Res.* 20 (7): 914-920.



# CONSECUENCIAS DE EL NIÑO 2002 SOBRE LAS LAGUNAS DE TRENQUE LAUQUÉN Y POZUELOS

*Consequences in Trenque Lauquen and Pozuelos  
Lagoons from El Niño 2002*

**Alejandro Esteban Maggi\* y Stella Maris Navone**

Facultad de Agronomía U.B.A.  
Av. San Martín N° 4453 Capital Federal  
\*maggi@agro.uba.ar

## RESUMEN

Desde hace años se han desarrollado numerosos estudios que demuestran las oscilaciones climáticas provocadas por El Niño y La Niña. El propósito de este trabajo fue estudiar algunos efectos sobre la laguna de Pozuelos en Jujuy y las superficies inundadas en el partido de Trenque Lauquén en Buenos Aires, durante El Niño 2002-2003. Se consideró Evento El Niño este año tal como lo reportan en la lista del consenso (WRCC, CDC, CPC y MEI). Se utilizaron imágenes satelitales Landsat de septiembre de 2003 y SAC C de diciembre de 2002, provistas por CONAE. En la laguna de Pozuelos se observó una fuerte disminución en el espejo de agua alcanzando solo 59.78 ha cuando la misma puede llegar a ocupar más de 12000 has. Esta retracción de la laguna afecta la producción de biomasa vegetal, a la fauna y la alimentación de animales domésticos. También obliga a la migración de los flamencos. La lluvia en Abra Pampa para el período julio de 2002 a junio de 2003 fue 295 mm mientras que la media entre 1970 y 2003 del período monzónico es 342 mm. En Trenque Lauquén, llovió 1090 mm entre noviembre de 2001 y noviembre de 2002, mientras que el promedio de ese período entre 1970 y 2007 es 851,6 mm, inundándose el 3,14 % de la superficie total del partido, triplicando la superficie bajo agua respecto de los años normales. Considerando solamente el total de las tierras inundadas en 2002, se midieron 11433 ha (66,33 %) de uso agrícola ganadero, pertenecientes a Hapludoles (énticos, típicos y thapto árgicos). Mientras que las tierras inundadas de uso exclusivo ganadero, Natracualf típico, suman 854 ha (4,96 %), los Haplustoles énticos de vocación granadera agrícola sumaron 567 ha (3,29 %), y el resto son lagunas permanentes.

**Palabras clave:** El Niño, producción, ambiente, lagunas.

## SUMMARY

Several studies have been developed to show the climatic oscillations caused by El Niño and La Niña. The main goal of this work was to study some effects on Pozuelos lagoon in Jujuy and the changes in the surfaces of the water bodies which were flooded during El Niño 2002-2003, in Trenque Lauquén Buenos Aires. The consensus list (WRCC, CDC, CPC and MEI) was taken account to considerer as El Niño year. Satellite images were used: Landsat 5 TM, September 2003 and SAC C, December 2002, provided by CONAE.

In Pozuelos lagoon a strong diminution in the water body near to 59,78 ha was showed, when the same can reach more than 12000 ha.

This retraction of the lagoon affects the production of vegetal biomass; fauna and the feed required by domestic animal, as well as, the flamenco must migrate.

The rainfall in Abra Pampa from July 2002 to June 2003 was 295 mm whereas the average one between 1970 and 2003 in the monsoon period is 342 mm. In Trenque Lauquén rained 1090 mm between November 2001 and November 2002 whereas the average of that period between 1970 and 2007 is 851,6 mm. The 3,14% of the total surface in Trenque Lauquén was flooded. The surface under water was three times larger than respect to normal years. Only considering the total of the soil flooded in 2002: 11433 ha. (66,33%) with cattle breeding and crop use, corresponding to (entic, typical and thapto argic) Hapludols, were measured. Meanwhile the flooded lands used as rangeland, which are typic Natracualf, added 854 ha. (4,96%), the entic Haplustols used as rangeland and crop fields totalized 567 ha. (3,29%). The rest is the surface occupy by ponds and lagoons.

**Key word:** El Niño, production, environmental, lagoons

## INTRODUCCION

El fenómeno conocido como Oscilación del Sur El Niño (*El Niño-Southern Oscillation*, ENSO), se caracteriza por un episodio que se inicia en el océano Pacífico tropical, cerca de Australia e Indonesia, y con él se altera la presión atmosférica en zonas muy distantes entre sí, se producen cambios en la dirección y en la velocidad de los vientos y se desplazan las zonas de lluvia en la región tropical. Durante el fenómeno de "la Niña", las zonas relativamente húmedas y lluviosas se localizan en el sudeste asiático, mientras que América del Sur se mantiene relativamente seca.

El oeste de la provincia de Buenos Aires está expuesto a ciclos periódicos de inundaciones y sequías. Estos procesos se desarrollan en un paisaje de características topográficas muy particulares, sin una red de drenaje superficial organizada. En el año 1884 el Dr. Florentino Ameghino formulaba el desafío a resolver: "Establecer los medios para poder dar desagüe en los casos urgentes, a aquellos terrenos anegadizos, expuestos al peligro, expuestos a una inundación completa durante una época de excesivas lluvias, pero impedir este desagüe en las estaciones de lluvias menos intensas y sobre todo en regiones expuestas sólo a inundaciones parciales o limitadas y aprovechar las aguas que sobran en tales épocas para regar los campos en estaciones de seca, ejecutando trabajos que impidan que esas aguas inunden los terrenos bajos, sin necesidad de darles desagüe a los grandes ríos ni al océano"

A más de un siglo de este planteo, estos ciclos se siguen sucediendo y no se ha alcanzado la solución para este problema. El partido de Trenque Lauquén es un sector bien representativo de la región oeste.

Por otra parte, en el extremo noroeste de la Argentina, la Puna se presenta como una altiplanicie por encima de los 3500 m s.n.m. y de clima árido. Corresponde a parte de las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca. La vegetación preponderante es de estepa arbustiva y en zonas asociadas a cuerpos o cursos de agua se puede encontrar humedales. Tiene una fuerte estacionalidad de las lluvias que se presentan concentradas durante los meses de verano. Existe una marcada amplitud térmica con temperaturas, características de zonas áridas.

No existen grandes ríos que recorran la región, siendo las cuencas endorreicas con salares o lagunas en los piedemontes el sistema de drenaje más importante.

Las precipitaciones de la puna, como se ha demostrado en otros ecosistemas áridos, sufre una gran variabilidad interanual (Ezcurra, 2006). La disponibilidad de agua pluvial es fundamental en numerosos procesos que afectan desde los procesos físico-químicos hasta la productividad primaria neta de los autótrofos, regula las poblaciones de herbívoros y determina la disponibilidad de agua para los humanos. Las oscilaciones en el clima también afectan en forma marcada la productividad de los pastizales en la puna jujeña, provocando mortandad de animales.

Se han realizado numerosos estudios a partir de documentos históricos, así como con técnicas paleoclimáticas de estudio que demuestran la existencia de oscilaciones del clima y particularmente de las precipitaciones en el Altiplano a lo largo de la historia del planeta (Quinn y Neal, 1983; Ropelewski y Halpert, 1987; Prieto y García Herrera, 2008;). Por otra parte, algunos trabajos realizados en la puna han evaluado los cambios superficiales de las lagunas y otras geoformas a partir de imágenes satelitales y su relación con cambios en el clima. (Maggi *et al.*, 2005 y Kindgard *et al.*, 2008).

El propósito de este trabajo fue estudiar los cambios en la superficie de los espejos de agua sobre la laguna de Pozuelos en Jujuy y las superficies inundadas en el partido de Trenque Lauquén en Buenos Aires, durante el evento El Niño 2002-2003.

## **MATERIALES Y METODOS**

El fenómeno ENSO no tiene una única definición. Hay diferentes criterios para determinar los años con eventos Niño, Niña o Neutros. A veces se llega a un consenso, con el agregado de si es un fenómeno fuerte o débil (Null, 2007).

Se considero Evento El Niño este año tal como lo reportan en la lista del consenso (WRCC, CDC, CPC y MEI). Centro del Clima Regional del Oeste (Western Regional Climate Center - WRCC); CDC- Climatic Data Center; CPC Climate Prediction Center Centro De Predicciones Climáticas y Multivariate ENSO Index (MEI).

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat de septiembre de 2003 y SAC C de diciembre de 2002, provistas por CONAE.

Para el estudio de Pozuelos se escogieron escenas correspondientes a los meses de agosto o septiembre ya que éstos coinciden con el final de la época seca o antes del inicio del ciclo monzónico.

La Laguna de Pozuelos al poseer un cuerpo de agua homogéneo permitió el uso del algoritmo SAM para clasificar el área con agua de las lagunas. Mediante el ajuste de las Rule Images se logró identificar los cuerpos de agua que fueron exportados como shapefile, se vectorizó la clasificación y se calculó la superficie cubierta por el espejo de agua.

Las imágenes Path 232 Row 075 fueron registradas a partir de imágenes ortorrectificadas del GLCF UTM 19S WGS84.

Las precipitaciones correspondientes a los años estudiados fueron obtenidas de los registros de la estación meteorológica del INTA Abra pampa. La misma se ubica a 22° 48' 10.29" de latitud sur y 65° 49' 27.74" de longitud oeste a 3454 m s.n.m. Esta estación se encuentra 47 km al sudeste de Pozuelos. Se obtuvieron y ordenaron las precipitaciones, considerando la estación monzónica. Se reprocesaron para representar la estación lluviosa del año, de modo que los valores acumulados para el año 2000 corresponden a los meses de julio-diciembre del 1999 más los valores registrados en el 2000 de enero a junio (Figuras 1 y 2).

Para el partido de Trenque Lauquén las lluvias se obtuvieron a partir del Servicio Meteorológico Nacional, se ordenaron de diciembre a noviembre, ya que el

crecimiento del cultivo de la soja se produce entre noviembre hasta mayo y, además, por lo general en el mes de noviembre la demanda atmosférica todavía no borra los efectos de un año previo con exceso hídrico.

Para estudiar qué tierras fueron afectadas durante la inundación del 2001, se utilizó el programa Arc Gis que permite realizar análisis espaciales entre los polígonos del shapefile de superficie bajo agua, generado a partir de datos satelitales, con los polígonos del archivo correspondiente al mapa de suelos generado por el INTA Castelar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la laguna de Pozuelos se observó una fuerte disminución en el espejo de agua alcanzando solo 59,78 has cuando la misma puede llegar a ocupar más de 12000 ha (Figura 1).

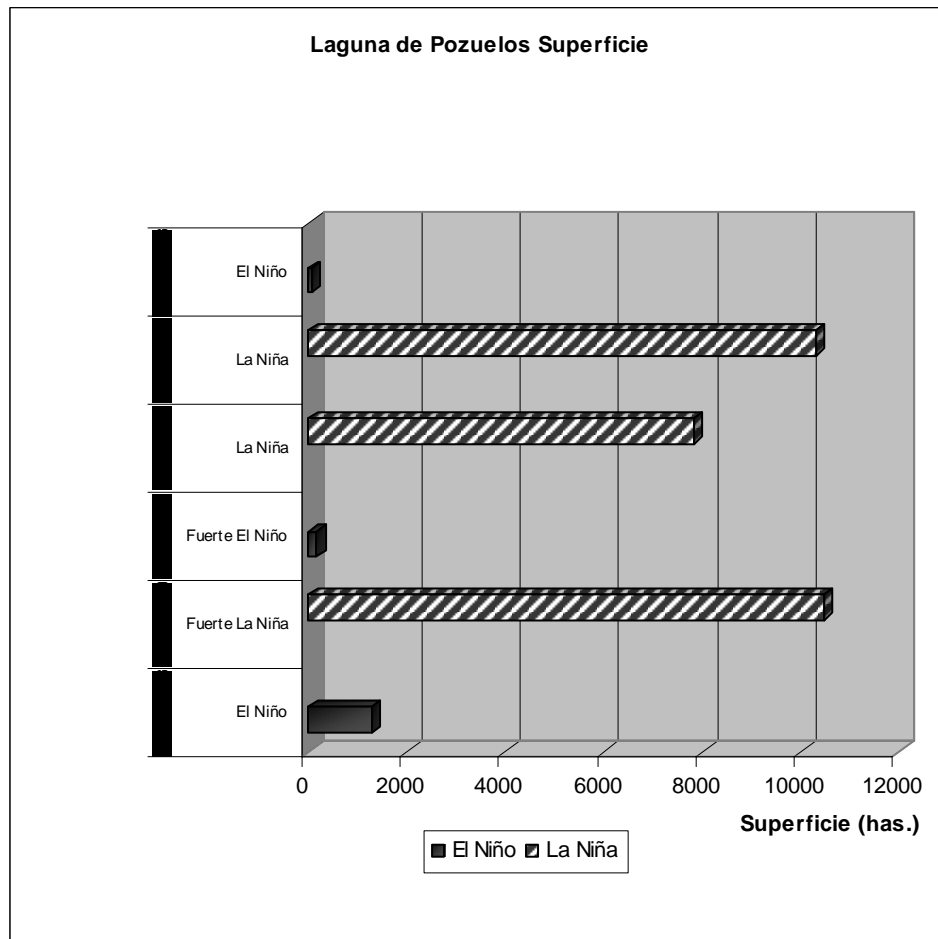


Figura 1. Superficie de la Laguna de Pozuelos en años El Niño y La Niña.

Esta retracción de la laguna indica una disminución en la producción de biomasa vegetal y afecta la fauna y la alimentación de animales domésticos. También obliga a la migración de los flamencos. La lluvia en Abra Pampa para el periodo julio de 2002 a junio de 2003 fue 295 mm, mientras que la media entre 1970 y 2003 del período

monzónico es 342 mm. Sin embargo, para la Laguna de Pozuelos, cuando se lo compara con otros eventos El Niño, solamente durante los eventos considerados fuertes o de elevada magnitud, donde existe coincidencia entre las distintas metodologías para la determinación de un evento Niño o Niña (WRCC, CDC, CPC y MEI), se observa una relación directa entre las precipitaciones y el crecimiento o disminución las superficies de la Laguna como ocurrió en 1989 Fuerte Niña y 1998 Fuerte Niño, respectivamente (Figura 1 y 3).

Adicionalmente, debemos considerar la evidencia científica que demuestra que los futuros eventos El Niño se manifestaran con anomalías del clima más extremas y más frecuentes a causa del calentamiento global (Meehl *et al.*, 1993, Meehl y Washington, 1993; Meehl, 1996).

Por otra parte, en Trenque Lauquén llovió 1090 mm entre noviembre de 2001 y noviembre de 2002, mientras que el promedio de ese período entre 1970 y 2007 es 851,6 mm, inundándose el 3,14 % de la superficie total del partido, triplicando la superficie bajo agua respecto de los años normales. Considerando solamente el total de las tierras inundadas en 2002, se midieron 11433 ha (66,33 %) de uso agrícola ganadero, pertenecientes a Hapludoles (énticos, típicos y thapto árgicos). Mientras que las tierras inundadas de uso exclusivo ganadero, Natracualf típico, suman 854 ha (4,96%), los Haplustoles énticos de vocación ganadera agrícola sumaron 567 has (3,29%) y el resto son lagunas permanentes (Figura 2).

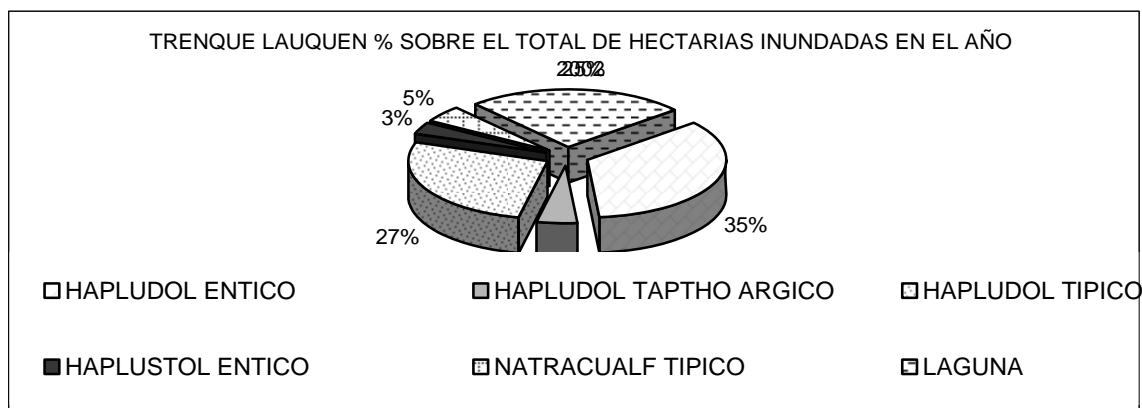


Figura 2. Porcentaje de superficie inundada en el partido de Trenque Lauquén en diciembre de 2002, según la clase taxonómica (Soil Taxonomy).

Las manifestaciones y efectos de un mismo evento mostraron consecuencias disímiles, mientras en la Laguna de Pozuelos durante los eventos El Niño 2002 se observa una sequía o reducción de la laguna a su mínima expresión, medida en septiembre de 2003, provocando una disminución de la producción de biomasa vegetal y obligando a la migración de los flamencos, en el partido de Trenque Lauquén las lagunas se desbordan para comprometer tierras productivas que habitualmente tienen un uso agrícola ganadero.

### Laguna de Pozuelos 19 de Septiembre de 1998

Landsat 5 TM RGB: 5-4-3

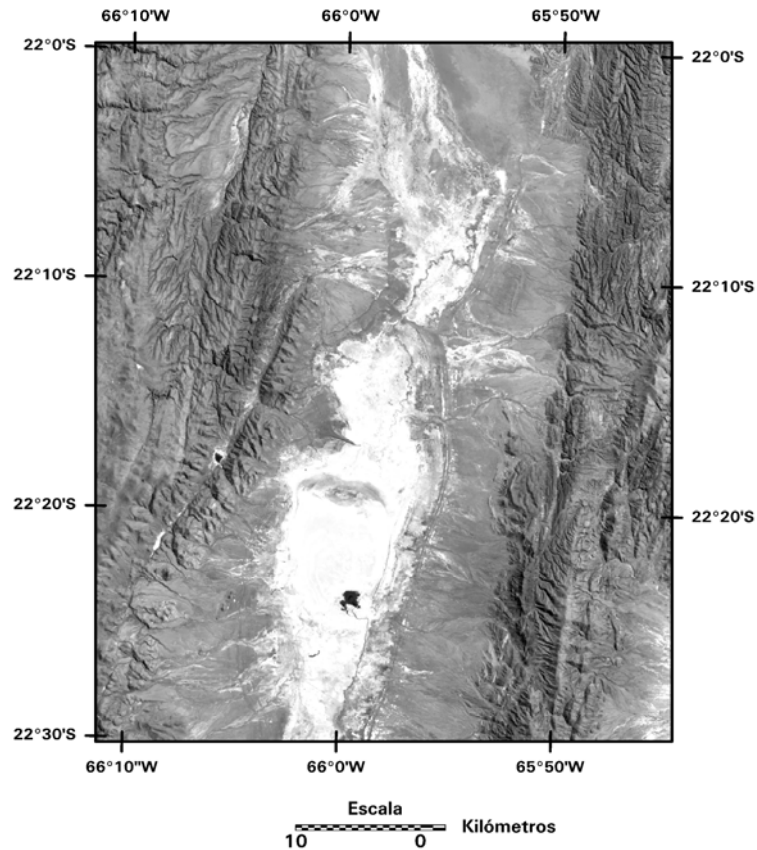


Figura 3. Imagen Landsat Laguna de Pozuelos.

### CONCLUSIONES

En el partido de Trenque Lauquén el 75% de la superficie cubierta por agua (128 km<sup>2</sup>), como consecuencia del fenómeno El Niño del año 2002, correspondían a tierras productivas.

La laguna de Pozuelos alcanza uno de sus niveles más bajos debido al evento El Niño 2002 (0,59 km<sup>2</sup>).

A pesar de las grandes diferencias climáticas y de uso de la tierra, existentes entre ambas regiones, se puede observar frente a la ocurrencia del mismo evento El Niño 2002, la existencia de emergencias ambientales de características opuestas y extremas (sequía e inundación).

El uso de imágenes satelitales permitió el monitoreo, la identificación y cuantificación de las diferentes clases de uso de la tierra afectadas como consecuencia de la sequía en la laguna de Pozuelos y por la inundación y desborde de las lagunas en Trenque Lauquén.

### AGRADECIMIENTOS

A la Comisión de Actividades Espaciales (CONAE) por la provisión de las imágenes satelitarias. Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Castelar por los archivos con datos de suelos, al INTA Abra Pampa y el Servicio Meteorológico Nacional SMN por la provisión de los datos meteorológicos y la Universidad de Buenos Aires por el financiamiento del Proyecto UBACyT G423.



## BIBLIOGRAFIA

- CENTRO DE ESTUDIOS SOCIALES Y AMBIENTALES / Informe Final IAI 2004 ENSO-Argentina II-10.
- EXCURRA E. 2006. Natural history and evolution of the World's deserts. Chapter 1. Pp 1-26. E. Excurra. *Global Deserts Outlook*. UNEP.
- KINDGARD, F.A.; NAVONE, S.M. y MAGGI, A. 2008. Determinación de los efectos del fenómeno ENSO y las variaciones de precipitaciones a través de sensores remotos en una cuenca endorreica de la puna semiárida. *XIII Simposio Internacional de la Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial*, La Habana Cuba. Recursos Naturales y Medio Ambiente. Tema 9 Doc.18. ISBN 978-959-247-063-7 Editorial Obras UNAICC.
- MAGGI, A.; NAVONE, S.; BARGIELA, M. y INTROCASO, R. 2005. Monitoring the global change detection using landforms and Landsat 5 TM. *International Geographical Union. Proceedings of Environmental Change and Rational Water Use*. Orientación Grafica Editora- 1ª ed- Buenos Aires. Argentina. 160:76.
- MEEHL, G.A. y WASHINGTON, W.M. 1993. South Asian summer monsoon variability in a model with doubled atmospheric carbon dioxide concentration. *Science*, (260): 1101–1104.
- MEEHL, G.A. 1996. El Niño-like climate change in a model with increased atmospheric CO2 concentrations. *Nature*, (382):56–60.
- MEEHL, G.A.; BRANSTATOR, G.W. y WASHINGTON, W.M. 1993. Tropical Pacific interannual variability and CO2 climate change. *J. Climate* Vol.6:42–63.
- NULL, J. 2007. El Niño & La Niña Years: A Consensus List. <http://ggweather.com/enso/years.htm>.
- PRIETO, M.; DEL ROSARIO M. y GARCÍA HERRERA, R. 2008. Documentary sources from South America: Potential for climate reconstruction. PALAEO-04827 *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* en prensa
- QUINN, W.H. y NEAL, V.T. 1983. El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *Journal of Geophysical research*, Vol. 92, N° C13:449-14:461.
- Report on The IAI Workshop on ENSO and Interannual Climate Variability, July 12-15, 1994. Lima, Peru.
- ROPELEWSKI, C.F. and HALPERT, M.S. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño Southern Oscillation. *Monthly Weather Rev.* 115 (8):1606–1626.



# VARIABILIDAD DECADAL DE LAS SITUACIONES HÍDRICAS EXTREMAS EN EL CENTRO-NORESTE ARGENTINO

## *Decadal Variability of the extreme water conditions in the centre- Northeast of Argentina*

Olga C. Penalba <sup>\*1</sup>, Vanesa C. Pántano<sup>1</sup>, Liliana B. Spescha <sup>2</sup> y Guillermo M. Murphy <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, UBA.  
Ciudad Universitaria, Pabellón II, Piso 2, Argentina.

<sup>2</sup> Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Facultad de Agronomía. UBA,  
Argentina.

\*penalba@at.fcen.uba.ar

### RESUMEN

El clima y su variabilidad representan uno de los factores más importantes a tener en cuenta en muchas actividades productivas. Dicha variabilidad depende principalmente del cambio en la frecuencia de ocurrencia o la intensidad de los eventos extremos. Las condiciones hídricas extremas son de especial relevancia para el desarrollo de los cultivos, produciendo un impacto socio económico en las zonas afectadas.

El objetivo de este trabajo es analizar la variabilidad decadal de las situaciones hídricas extremas del suelo en la región centro-noreste de la Argentina.

Los datos utilizados fueron la precipitación y las temperaturas máximas y mínimas mensuales, en 35 estaciones en el período 1960-2008. A partir del Balance Hidrológico Seriado mensual se analizó para cada estación astronómica la variabilidad decadal de la cantidad porcentual de déficit (exceso) y déficit extremo (exceso extremo).

En términos generales, la región se encuentra en condiciones deficitarias, siendo la zona más desfavorable al oeste del meridiano 60°. La década 1960 fue la más extrema, por su intensidad, dominio espacial y temporal; mientras que las décadas del 70, 90 y 2000 presentaron condiciones deficitarias extremas en otoño, invierno y primavera, respectivamente. Con respecto a las condiciones de exceso, la región de la Mesopotamia presenta la mayor probabilidad de ocurrencia. Al analizar estas situaciones hídricas extremas, el resultado fue más sectorizado, dependiendo de la época del año y década.

En este contexto, la agricultura argentina extensiva ha experimentado transformaciones de gran magnitud: aumento de la superficie sembrada con cultivos y su productividad; cambios en la importancia relativa de los cultivos; incorporación de nuevas tecnologías de alto impacto. Anticipando las condiciones probables de los eventos hídricos extremos, el sector agropecuario podrá adaptarse gradualmente al cambio climático.

**Palabras clave:** situaciones hídricas, Pampa Húmeda, extremos

### SUMMARY

The climate and its variability represent one of the most important factors to take into account in many productive activities. Such variability mainly depends on the change in the frequency of occurrence or the intensity of extreme events. The extreme hydric conditions play an important role in the development of the crops producing a socio-economic impact in the affected zones.

The objective of this work is to analyze the decadal variability of the extreme water conditions of the soil in the centre- north east region of Argentina.

Monthly data of precipitation and maximum and minimum temperatures have been used in 35 stations for the period 1960-2008. From the Water Balance, the decadal variability of the percentage amount of deficit (excess) and extreme deficit (extreme excess) was analyzed for each season.

In general, the region is under deficit conditions, where west of 60°W is the most unfavourable zone. The 1960 decade was the most extreme because of its intensity and spacio-temporal domain; while the 70s, 90s and 2000 decades presented extreme water conditions in autumn, winter and spring, respectively. Regarding the excess conditions, Mesopotamia region presents the greatest probability of occurrence. Analyzing these extreme water conditions, the result was more sectorized, depending on the season and decade.

In this context, the extensive agriculture has experimented changes of great magnitude: increase in the surface sown with crops and its productivity; changes in the relative importance of the crops; incorporation of new high impact technologies. Anticipating the probable conditions of the extreme water events, the agricultural sector will be able to gradually adapt to the climate change.

**Key words:** water conditions; Pampa Húmeda; extremes

## INTRODUCCIÓN

La variabilidad y el cambio climático tienen su génesis en el sistema integrado tierra-atmósfera, afectando a todos los componentes del sistema climático. El impacto del calentamiento global observado en el medio ambiente y en las actividades del hombre depende principalmente del cambio en la frecuencia de ocurrencia o la intensidad de los eventos extremos. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) indica que los impactos del cambio climático serán particularmente advertidos a través de cambios en los eventos extremos, y esos cambios son una expresión de la variabilidad climática. Por lo tanto, la naturaleza de la variabilidad a distintas escalas espaciales y temporales es vital para el entendimiento de los eventos extremos.

La frecuencia e intensidad de los mismos representa una gran preocupación para el hombre vinculado a actividades fuertemente dependientes de las condiciones climáticas, como la agrícola e hidrológica. Una de las variables meteorológicas más relevantes es la precipitación y, asociado a ésta, la situación hídrica del suelo, estimada a partir de los componentes del balance hídrico.

Para el estudio de la variabilidad de las condiciones hídricas del suelo, Vargas (1979, 1982) elaboró un Atlas de Excesos y Deficiencias de Humedad en la Región Húmeda y Semiárida Argentina. Teniendo en cuenta las propiedades específicas del suelo y distintas coberturas vegetales, Spescha et al (2005, 2006) evaluaron el riesgo de sequía en algunas provincias de la región pampeana a partir del balance hídrico seriado. Uno de los trabajos pioneros en usar esta metodología fue Pascale y Damario (1977). En esta línea de investigación, Minetti *et al.* (2006) identifican las sequías climáticas ocurridas durante el siglo pasado para la Pampa Húmeda y sus consecuencias sobre la productividad del maíz. Los resultados más importantes muestran que la región posee un régimen donde predominan las rachas secas de corta duración y que en la variabilidad interanual rápida el cultivo tiene una importante sensibilidad al agua precipitada en el trimestre de verano.

Siguiendo con el estudio de la humedad del suelo, numerosos trabajos analizan los cambios producidos a partir de distintos escenarios de cambio climático simulados con modelos regionales y de escala global. Entre ellos se puede citar a Whetton *et al.* (1993) quienes estudiaron la posibilidad de cambios en la frecuencia e intensidad de las inundaciones y sequías en respuesta al cambio global para Australia. Por otro lado, Entekhabi *et al.* (1991) analizaron la ocurrencia y duración de sequías en continentes, argumentando que la mayor contribución a las sequías persistentes, al igual que las condiciones de mucha humedad, se podrían deber a interacciones no lineales y mecanismos de feedback entre las componentes del ciclo hidrológico.

Entre los trabajos más recientes que analizaron la variabilidad temporal se puede citar a Minetti *et al.* (2003); Liebmann *et al.* (2004); Penalba y Vargas (2004), Boulanger *et al.* (2005); y Penalba y Robledo (2009). En la región de estudio, pampa húmeda, se ha evidenciado un aumento progresivo en la precipitación en las últimas décadas, desplazando hacia el oeste la frontera agrícola. Estos cambios, cuantificados en términos anuales, estacionales y mensuales, pueden alterar el ciclo hidrológico afectando al sector agrícola.

El objetivo de este trabajo es estudiar la variabilidad decadal de las situaciones hídricas en la región centro-noreste argentina para las distintas etapas fenológicas de los cultivos, con especial énfasis en los eventos extremos.

## MATERIALES y MÉTODOS

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron datos mensuales de precipitación y temperaturas (máxima y mínima) de 35 estaciones, suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en el período 1960-2008 (Figura 1).

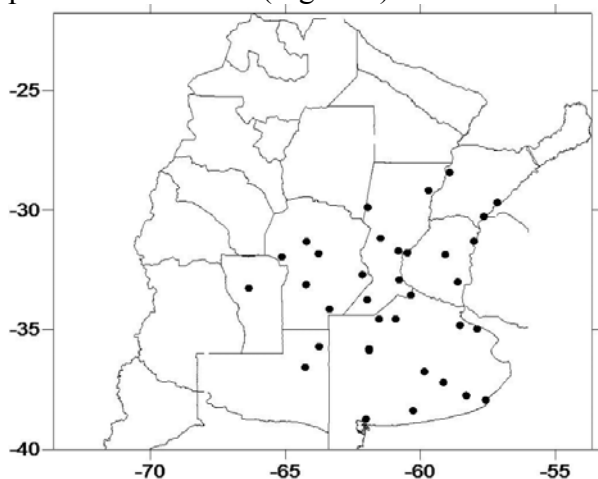


Figura 1. Ubicación de las estaciones utilizadas en el estudio.

La región de estudio comprende las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y Santa Fe. Las estaciones ubicadas fuera de la misma (San Luis y Corrientes) fueron utilizadas para dar un marco regional al estudio.

En este trabajo se estimaron los valores de evapotranspiración potencial mensual por el método de Thornthwaite (1948), el cual representa una buena estimación en climas templados húmedos (Hashemi y Habibian, 1979) y se calcula a partir de elementos meteorológicos de fácil acceso y buena calidad. Debido a que el mismo presenta limitaciones en climas áridos o muy húmedos, Murphy (2002) utilizó la modificación propuesta por Camargo *et al.* (1999) del cálculo de la temperatura efectiva. La utilización de esta temperatura permite obtener mejores estimaciones para elevados y bajos déficit de saturación, propios de los climas antes mencionados. A partir de la precipitación acumulada mensual y la estimación de la evapotranspiración se calculó el balance hidrológico mensual seriado. La metodología utilizada fue la

propuesta por Thornthwaite y Mather (1957) con las modificaciones de Forte Lay (1987), Forte Lay y Spescha (2001). Se utilizaron las capacidades de campo específicas para cada localidad, teniendo en cuenta las series de suelos características de cada lugar (Forte Lay y Spescha, 2001).

A partir de las componentes del balance hidrológico mensual, se estimó la situación hídrica ( $SH = \text{exceso} - \text{déficit}$ ) para cada etapa fenológica de los cultivos, las cuales se pueden asociar a cada estación astronómica (verano: dic-ene-feb; otoño: mar-abr-may; invierno: jun-jul-ago; primavera: sept-oct-nov), constituyendo la variable principal de análisis en este trabajo. Las etapas fenológicas consideradas fueron las fechas medias de siembra (primavera) de los cultivos de verano: maíz, girasol y soja. Para estos cultivos, el período medio crítico del agua corresponde al verano (máxima evapotranspiración) y al otoño (fecha media de cosecha). El invierno, época del año previa a la siembra, corresponde al comienzo de las labores de preparación de la cama de siembra.

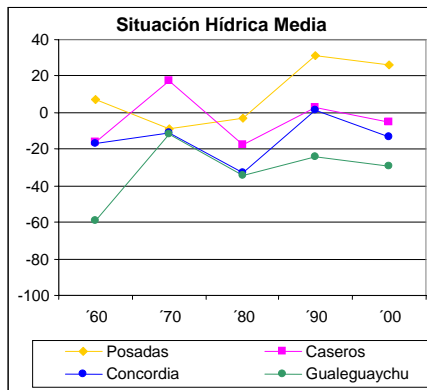
Se determinaron los umbrales a partir de los cuales se consideraron las situaciones hídricas extremas, para las etapas fenológicas analizadas: la situación hídrica favorable (definida como su percentil 80) y desfavorable (percentil 20). A partir de estos umbrales, se calculó para cada década el porcentaje de años con mayor disponibilidad de agua (situaciones hídricas estacionales superiores al percentil 80) y menor disponibilidad de agua (situaciones hídricas estacionales inferiores al percentil 20).

## **RESULTADOS**

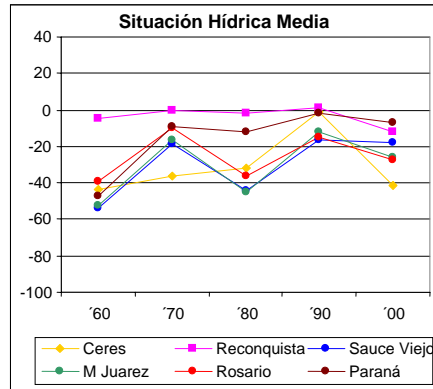
### **Variabilidad decadal**

Con el fin de analizar la variabilidad decadal, se calcularon el valor medio y la desviación estándar de las situaciones hídricas para cada una de las décadas para las distintas etapas fenológicas. El análisis de la variabilidad temporal de estos estadísticos fue cualitativo. Esto se debió a que se contaba solamente con cinco décadas, limitando la aplicación de tests estadísticos y su significancia.

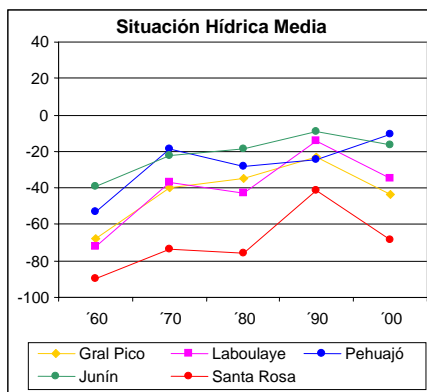
En las Figuras 2 y 3 se muestran los valores medios y la desviación estándar, respectivamente de las situaciones hídricas de verano para distintas estaciones. Cada una de ellas son representativas de las distintas situaciones hídricas en la región (zonas noreste; centro norte; centro sur y oeste). En términos generales, es interesante observar el aumento progresivo en el tiempo de las situaciones hídricas, indicando que en las últimas décadas la disponibilidad de agua es mayor. Esta situación ha permitido el incremento de la superficie sembrada con cultivos de verano, permitiendo una mayor productividad. Este resultado es consistente con los obtenidos por Rusticucci y Barrucand (2004) quienes encuentran una disminución en la amplitud térmica, dada por una tendencia positiva de temperaturas mínimas y tendencia negativa de temperaturas máximas en la región núcleo de la Argentina. Dado que la evapotranspiración es proporcional a una relación análoga a la amplitud térmica, la misma se ve reducida si la amplitud térmica disminuye, llevando a situaciones hídricas más favorables para el suelo.



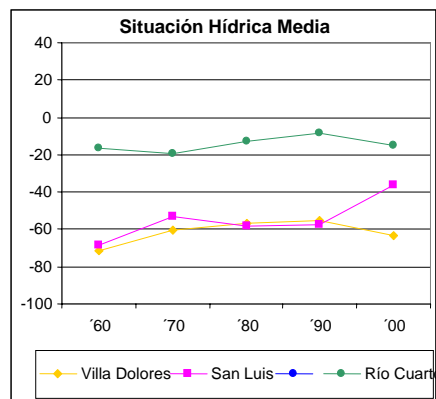
a)



b)



c)



d)

Figura 2. Valor medio de la situación hídrica de verano por década en la región(a) noreste, (b) y (c) centro y (d) oeste del país.

Por otro lado, en el centro de la región de estudio, se observan también situaciones hídricas favorables en las décadas del 70 y 90 y desfavorables para las décadas del 60 y 80. Estos resultados son consistentes con los mencionados por el IPCC (2007) que indica un período seco en la década del 60 seguido por un período relativamente húmedo en la década del 70. Para la región de estudio, la intensidad es mayor en las estaciones ubicadas en el centro norte, que aquellas ubicadas en el centro sur. Las estaciones Ceres y Reconquista no son coherentes con este comportamiento, posiblemente debido a que son las estaciones ubicadas más al norte de las 6 analizadas en la región centro-norte.

El aumento de los excesos en la estación otoñal constituye un inconveniente para las tareas de cosecha de los cultivos de verano (soja, maíz, girasol), de gran importancia económica en todo el sector centro y norte de la región (resultado no mostrado). Esto se manifiesta con encharcamientos del terreno, ablandamiento de la superficie que impide el paso de maquinarias, y mayor incidencia de enfermedades criptogámicas en las últimas etapas de los cultivos o durante la cosecha (Aristizábal, 2008). Finalmente, la estación invernal no presenta cambios importantes en el transcurso de las décadas, mientras que la primavera es la época con mayor variabilidad regional (resultado no mostrado).

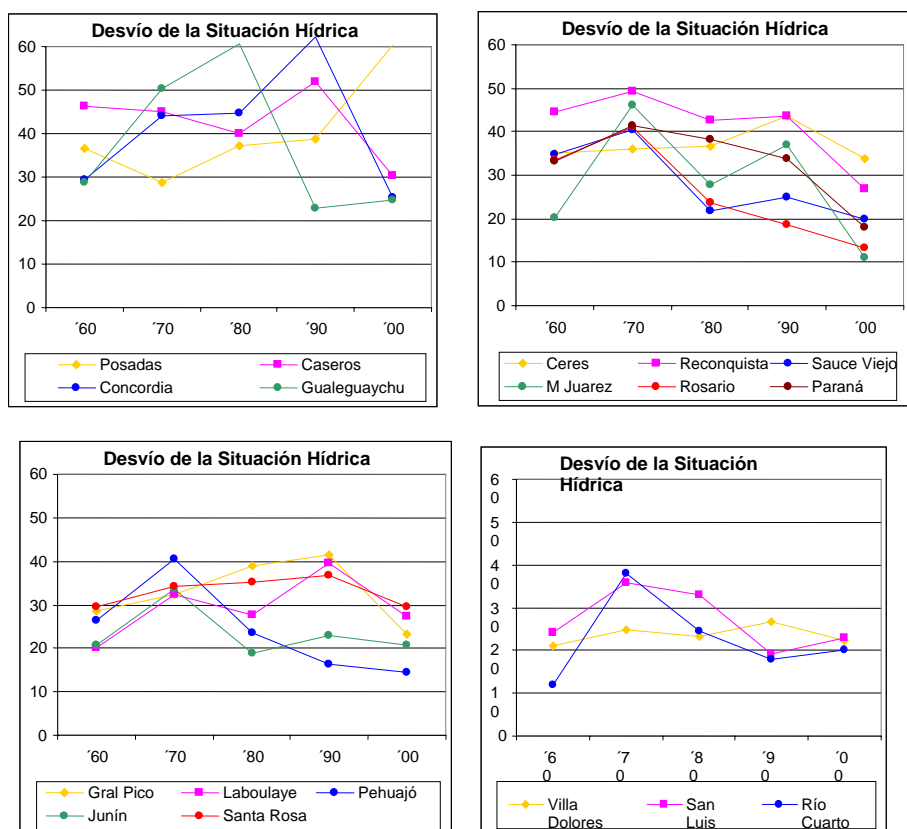


Figura 3. Desviación estándar de la situación hídrica de verano por década en la región (a) noreste, (b) y (c) centro y (d) oeste del país.

El análisis de la variabilidad interanual para cada una de las décadas presenta un comportamiento más sectorizado (Figura 3). Para la estación astronómica del verano se observa que en general para las estaciones ubicadas en la región centro, presentan un mínimo relativo de la desviación estándar en la década del sesenta, seguido por un máximo relativo en el setenta y una disminución en las últimas décadas. Por el contrario, la variabilidad aumenta con las décadas en las estaciones ubicadas en el noreste de la región de estudio.

En general se observa un aumento de la variabilidad interanual en toda la región de estudio entre las décadas 80 y 90, consistente con el trabajo de Penalba y Robledo (2009). Los autores observan un incremento en la cantidad de días con lluvias superiores a 0.1 mm en el verano para ese período.

La estación astronómica que mayor variabilidad presenta entre las décadas es la estación del otoño, mientras que el invierno es el que presenta menor variabilidad (no se muestran).

### Variabilidad temporal extrema

Finalmente, se investiga si este aumento progresivo en determinadas etapas fenológicas de las situaciones hídricas está presente en la mayor y menor disponibilidad de agua. En la Figura 4 se muestra el porcentaje de años con menor disponibilidad de agua para cada una de las décadas, para el verano. En términos generales, la década de 1960 fue la más extrema, con menor disponibilidad de agua prácticamente en toda la región, para las



distintas etapas fenológicas. Las décadas del 70, 90 y 2000 presentaron condiciones de menor disponibilidad de agua. Sin embargo, su intensidad dependerá de la etapa fenológica y región.

Con respecto al análisis de mayor disponibilidad de agua, el resultado fue más sectorizado, dependiendo de la época del año y década (resultado no mostrado). Este comportamiento está ligado a la variabilidad espacial que presentan los eventos extremos tanto de temperatura (Rusticucci y Barrucand, 2004) como precipitación (Penalba y Robledo, 2009). Sin embargo, prácticamente toda la región presentó un alto porcentaje de años con buena disponibilidad de agua en el verano de la década del 90.

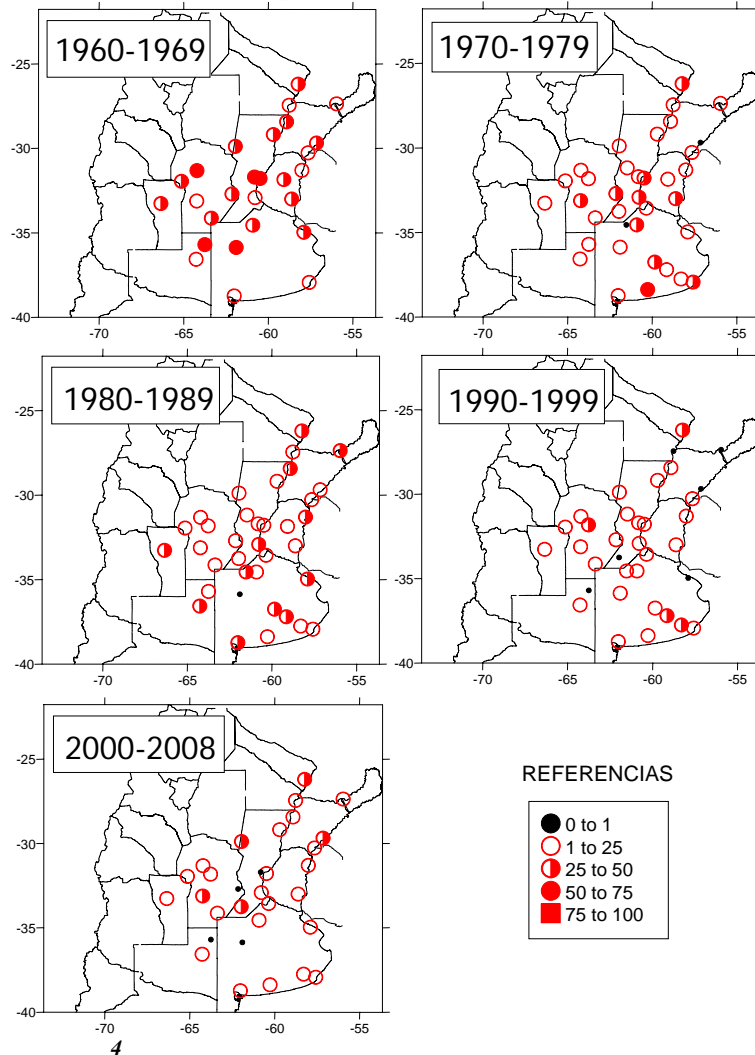


Figura 4. Menores disponibilidades de agua por décadas para el verano.

## CONCLUSIONES

El clima y su variabilidad representan unos de los factores más importantes a tener en cuenta en muchas actividades productivas. Dicha variabilidad depende principalmente del cambio en la frecuencia de ocurrencia o la intensidad de los eventos extremos. Las condiciones hídricas extremas son de especial relevancia para el desarrollo de los cultivos, produciendo un impacto socio económico en las zonas afectadas. La pampa

húmeda ha evidenciado un aumento progresivo en la precipitación en las últimas décadas, desplazando hacia el oeste la frontera agrícola.

Al analizar la variabilidad temporal de la situación hídrica media se comprobó un aumento de los eventos extremos durante los últimos años, coherente con el incremento de la precipitación en la región. Los mayores excesos se producen en el otoño, incrementándose hacia el nordeste de la región. A su vez, se debe considerar que los efectos adversos de los mismos se potencian en áreas planas y deprimidas. En el verano se observan situaciones hídricas favorables en las décadas del 79 y 90 y desfavorables para las décadas del 60 y 80. La estación invernal no presenta cambios importantes en el transcurso de las décadas.

La variabilidad de la situación hídrica indica un aumento en toda la región de estudio entre las décadas 80 y 90 en el verano. La mayor variabilidad entre las décadas se observa en el otoño y en las estaciones ubicadas hacia el oeste de la región y el invierno es el que presenta menor variabilidad.

La década del sesenta presenta la mayor cantidad de eventos extremos. Se percibe, además, un mayor número de eventos extremos en el verano y en otoño sobre todo en los últimos años.

En este contexto la agricultura argentina extensiva ha experimentado transformaciones de gran magnitud: aumento de la superficie sembrada con cultivos y su productividad; cambios en la importancia relativa de los cultivos; incorporación de nuevas tecnologías de alto impacto.

#### **AGRADECIMIENTOS.**

Este trabajo fue solventado por los subsidios: UBACYT X170; G069 y BID 1728-AR-PICT 38273 CLARIS LPB (A Europe-South America Network For Climate Change Assessment and Impact Studies in La Plata Basin, FP7-ENV-2007).

#### **BIBLIOGRAFIA**

- ARISTIZÁBAL, J.M. 2008. Evaluación del ajuste de métodos de estimación de días útiles para cosecha en la zona de Pehuajó. Tesis de Licenciatura de la Facultad de Agronomía- UBA.
- BOULANGER J.P., LELOUP J., PENALBA O., RUSTICUCCI M., LAFON F. y VARGAS W. 2005. Observed precipitation in the Paraná-Plata hydrological basin: Long-term trends, extreme conditions and ENSO teleconnections. *Climate Dynamics*, 24, 393-413.
- CARMARGO A. P., MARIN F. R., SENTELHAS P. C. y GIAROLA PICCINI A.; 1999. Ajuste de equação de Thornthwaite para estimar la evapotranspiração em climas árido y superhúmedo, com base na amplitude térmica diária. *Rev. Bras. Agrometeorología*, 7, 2: 251-257.
- ENTEKHABI D., RODRÍGUEZ-ITURBE I.Y BRAS R.L. 1991. Variability in Large-Scale Water Balance with Land Surface- Atmosphere Interaction. *Journal of Climate*. Vol 5.
- FORTE LAY J. A. y SPECHA L., 2001. Método para la estimación de la climatología del agua edáfica en las provincias pampeanas de la Argentina. *Revista Argentina de Agrometeorología* 1(1): 67-74.
- FORTE LAY J. A. y TROBA A., 1987. "Distribución de probabilidad de valores de humedad edáfica". *Geoacta* (AAGG). Vol. 14, N° 1. 141-152.

- HASHEMI F. y HABIBIAN M. T., 1979. "Limitations of temperature-based methods in estimating crop evapotranspiration in arid-zone agricultural development projects. *Agricultural Meteorology*, 20:237-247.
- IPCC 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA.
- LIEBMAN B., VERA C., CARVALHO L.M., CAMILLONI I.A., HOERLING M.P., ALLURED D., BARROS V.R., BAEZ J. Y IDEGAIN M., 2004: An observed trend central South American Precipitation. *J Climate*, 17, 4357-4367.
- MINETTI J.L., VARGAS W.M., POBLETE A.G., ACUÑA L.R. Y CASAGRANDE G. 2003: Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera*, 16, 119-135.
- MINETTI J.L., VARGAS W.M., VEGA B. Y COSTA M.C., 2006: Las sequías en la Pampa Húmeda: Impacto en la productividad del Maíz. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.22, n.2, 218-232, 2007
- MURPHY G. M., HURTADO R. H., RODRÍGUEZ R. O., 2002. Evaluación de una modificación del cálculo de la evapotranspiración potencial por la metodología de Thornthwaite para su aplicación en la región pampeana. 9º Reunión Argentina de Agro. Vaquería, Córdoba. Vol 1, 175-176.
- PASCALÉ A. J. y DAMARIO E. A, 1977. El Balance Hidrológico Seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. *Rev. Fac. Agron. La Plata (3a época)*, 53 (1-2): 15-34
- PENALBA O., VARGAS W., 2004. Interdecadal and Interannual variations of annual and extreme precipitation over central-northeastern Argentina. *Changes in the extreme precipitation seasonal cycle. Int. J. Climatology*, 24, 12, 1565-1580.
- PENALBA O.C., ROBLEDO F.; Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. *Climatic Change*. 2009
- RUSTICUCCI Y BARRUCAND, 2004. Observed Trends and Changes in Temperature Extremes over Argentina. *Journal of climate. Notes and Correspondence*.
- SPECHA L., MURPHY G.M., FORTE LAY J. A., HURTADO R. y SCARPATI O.E.; 2005/2006. Riesgo de sequía en la región pampeana. *Revista Argentina de Agrometeorología*. (5-6), 53-61.
- THORNTHWAITE C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geog. Review*. 38: 55-94
- THORNTHWAITE C.W. y MATHER J.R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. Drexel Institute of technology. *Publications in Climatology*. Vol. X. Nº 3. 185-311.
- VARGAS W.M., 1979. Atlas. Excesos y Déficits de Humedad en la Región Húmeda y Semiárida Argentina. Tomo 1. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas, pag. 140
- VARGAS W.M., 1982. Atlas. Excesos y Déficits de Humedad en la Región Húmeda y Semiárida Argentina. Tomo 2. Centro de Investigaciones Biometeorológicas. pag. 141
- WHETTON P.H., FOWLER A.M., HAYLOCK M.R. Y PITTOCK A.B. 1993. Implications of Climate Change due to the enhanced greenhouse effect on floods and droughts in Australia. *Climate Change* 25: 289-317, 1993.



# EFFECTOS DE LOS CAMBIOS GLOBALES SOBRE LA DIVERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE AMBIENTES ACUÁTICOS CONTINENTALES EN CHILE.

*Effects of global changes on the diversity and ecosystem services in Chilean inland waters*

Patricio De los Ríos<sup>1,\*</sup>, Patricio Acevedo<sup>2</sup> y Marcela Vega<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Universidad Católica de Temuco, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ciencias Ambientales, Casilla 15 D, Temuco, Chile.

<sup>2</sup> Universidad de la Frontera, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración, Departamento de Física, Casilla 54-D, Temuco, Chile.

\* prios@uct.cl

## RESUMEN

Con el objeto de conocer los efectos de los cambios globales sobre la diversidad en ambientes acuáticos, y los servicios ecosistémicos, se llevó a cabo un análisis de tres casos, en la zona norte de Chile; Río Loa, norte de la Patagonia y sur de la Patagonia. Se concluye desde el punto de vista ambiental, que el Río Loa ha sido afectado por dos factores, naturales y antropogénicos, con los consecuentes efectos en los servicios ecosistémicos como consecuencia de la reducción de sus áreas para agricultura y ganadería de subsistencia de comunidades aborígenes así como de recursos hidrobiológicos. En el norte de la Patagonia, se encontró baja riqueza de especies de crustáceos, se advirtió la presencia de dos efectos reguladores, la radiación ultravioleta y condición trófica, debido a la alta oligotrofia y exposición a la radiación ultravioleta. Estos ecosistemas tienen la particularidad de brindan importantes servicios ecosistémicos en su condición de paisajes prácticamente no contaminados. Por último, al sur de la Patagonia existen alteraciones climáticas que causan efectos visibles como el retroceso de glaciares y secado de ecosistemas acuáticos permanentes, con la consecuente reducción de hábitats que sirven de sitio de alimentación y nidificación de aves acuáticas, lo que constituye un servicio ecosistémico para el turismo de intereses especiales.

**Palabras Clave:** cambio climático, Río Loa, radiación ultravioleta, crustáceos, conductividad, zooplancton, Patagonia.

## SUMMARY

With the aim of known the effects of global changes in biodiversity and ecosystem services in aquatic environments and ecosystem services in Chile, it was analyzed three cases, in northern Chile the Loa river, northern Patagonia and southern Patagonia. It concludes on the environmental view point that the Loa river was affected by two factors, natural and human mediated with the effects in agriculture and poultry subsistence surface decreasing that is important for native people, as well as hydrobiologic resources. In northern Patagonia it was found low crustacean species richness that was affected by two factors: oligotrophy and exposure to natural ultraviolet radiation. These ecosystems have as ecosystem services that are practically unpolluted condition. Finally in southern Patagonia there are climatic alterations that generate

glacier decreasing and drying of shallow water bodies with the consequent habitat decreasing that are nesting and feeding area for aquatic birds that are important as ecosystem service for special interest tourism.

**Key words:** climatic change, Loa River, ultraviolet radiation, crustaceans, conductivity, zooplankton, Patagonia.

## INTRODUCCIÓN

Los cambios globales afectan la biodiversidad en ambientes acuáticos y los servicios ecosistémicos que éstos brindan. Estos ambientes están sometidos a una magnitud sin precedente de disturbios antrópicos locales y globales, lo cual genera cambios en la estructura y función de los ecosistemas, así como los servicios que éstos prestan a las poblaciones humanas asociadas (Perotti *et al.*, 2005). El presente trabajo tiene como objetivo analizar tres casos de ambientes acuáticos; en la zona norte, el río más largo de Chile, Río Loa, que ha sufrido las consecuencias de los cambios globales por el clima y las alteraciones antrópicas sobre la disponibilidad de alimentos, ya sea como recursos hidrobiológicos o de manera indirecta como superficies para la ganadería y agricultura (De los Ríos *et al.*, en prensa; 2009). Un segundo caso es el norte de la Patagonia caracterizada por la presencia de humedales localizados en zonas costeras, valles intermedios y zonas de montaña, que están regulados por la exposición de la radiación ultravioleta, que afectaría las comunidades planctónicas, lo cual permitiría la presencia de grupos resistentes a la radiación ultravioleta (De los Ríos *et al.*, 2008a). Finalmente, un tercer caso es el sur de la Patagonia, que se ha visto perturbada por los cambios climáticos en las últimas décadas, pudiendo alterar los numerosos cuerpos de agua superficiales de la zona (De los Ríos *et al.*, 2008b).

## PRIMER CASO: RIO LOA (22° S REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE)

El río Loa, con sus 440 km de curso, está clasificado como el río más largo de Chile. La hoya hidrográfica tiene los siguientes pueblos o pequeñas entidades de población: Carpa, Lequenas, Tairas, Tapiche, Conchi, Conchi Viejo, Añil, Siloli, Incaliri, Cabana, Ayavire, San Pedro, Toconce, Caspana, Ayquina, Turi, Cupo, Lasana, Cere, Chiu-Chiu, Calama, Chacance, Quillagua. En estos pueblos y asentamientos sus habitantes tienen como medio de subsistencia la actividad agrícola y ganadera (Niemeyer y Cereceda, 1984, Villagrán *et al.*, 2003).

La agricultura, durante milenios fue la base alimenticia de una serie de conglomerados humanos (Santoro *et al.*, 1998). En la cuenca del río se desarrollan diversas actividades agropecuarias dedicadas al cultivo del maíz y tubérculos tales como zanahorias, betarragas, ajos y crianza de ganado bovino y camélidos domésticos como la Llama (*Lama glama*) (Villagrán *et al.*, 2003). Los productos agrícolas provenientes de las diferentes localidades ubicadas en la cuenca tienen su distribución en el mercado regional. Esta actividad se encuentra estrechamente asociada al sistema de vida de las comunidades indígenas. (Villagrán *et al.*, 2003), en que la mayor parte de la producción agrícola la destinan al autoconsumo, situación influida por la alta representación de la alfalfa, que se destina casi en su totalidad a la crianza de animales. Existen diversos embalses en el curso del río Loa, entre los que desataca el embalse Chonchi, el cual regula las aguas destinadas para riego en la zona. Además, se encuentran los tranques Santa Teresa, Santa Fe y el Tranque Sloman (De los Ríos *et al.*, en prensa).

Desde el punto de vista hidrobiológico, el Río Loa, presenta dos especies endémicas, la primera es el camarón de río del norte (*Cryphiops caementarius*) y el pejerrey del norte (*Basilichthys semotilus*), ambas especies presentan amenazas en su conservación, a causa de sobre-explotación y/o reducción de hábitats (De los Ríos *et al.*, en prensa). Por otro lado, hay también poblaciones introducidas de trucha café (*Salmo trutta*) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) (Iriarte *et al.*, 2005), las cuales fueron introducidas a mediados del siglo XX en zonas altas del río, con el fin de satisfacer la pesca deportiva, pero que en la actualidad sirven para complemento alimenticio de poblaciones rurales (Iriarte *et al.*, 2005). El único estudio ecológico para el río Loa, describe una baja riqueza de especies de crustáceos, siendo comunes los ostrácodos y anfípodos (Tabla 1; De los Ríos *et al.*, en prensa).

El carácter urbano de la cuenca está determinado por las ciudades de Calama y Chuquibambilla las que, económicamente, se caracterizan por la explotación cuprífera que constituye la principal actividad económica de la zona. La población urbana se concentra en estas ciudades. A lo largo del extenso cauce del río Loa y sus cercanías, se desarrolla una serie de actividades industriales, principalmente relacionadas con la gran actividad minera metálica y no metálica que se practica en la Región. La mayoría de estas actividades utilizan las aguas del río Loa para faenas de beneficio de minerales que ellas extraen a través de aducciones en distintos puntos del río y sus afluentes, además algunas de estas actividades históricamente han vertido en forma directa los residuos industriales al río y otras lo estarían haciendo en forma indirecta (De los Ríos *et al.*, en prensa, 2009).

En general, la calidad natural del río es clasificada como de regular a mala, donde exceden la clase de excepción los metales como el cobre, cromo, molibdeno, boro, aluminio, los sólidos disueltos y conductividad eléctrica (De los Ríos *et al.*, 2009). La parte media de la cuenca posee actividad minera importante cuyos efectos antrópicos han cambiado la calidad natural, las que sumadas a las lixiviaciones naturales de las franjas metalogénicas han ocasionado presencia de metales como el cobre, hierro, y cromo (De los Ríos *et al.*, 2009). Conforme a la situación actual del Río Loa, se puede concluir que existen dos factores que inciden en la calidad del agua; naturales y antropogénicos, siendo estos últimos los que intervienen en la calidad y cantidad de las aguas, producto de una serie de actividades industriales.

Los principales impactos derivados de la mala calidad de las aguas que se pueden producir sobre cultivos son, la disminución de rendimientos, la pérdida de cosechas, la disminución de la diversidad de especies cultivables y cambios en la calidad e inocuidad de los alimentos producidos, así como disminución de áreas para la ganadería. La principal actividad industrial que amenaza la sustentabilidad de las comunidades del río Loa, es la minería (De los Ríos *et al.*, 2009, en prensa).

## **SEGUNDO CASO: HUMEDALES DE MONTAÑA NORPATAGÓNICOS (38° S, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA)**

El norte de la Patagonia chilena (37-39° S), presenta una serie de humedales, los cuales se encuentran en zonas de montaña, valles intermedios y zonas costeras (De los Ríos *et al.*, 2007), no existiendo estudios sobre zooplancton para estos cuerpos de agua. Los estudios de zooplancton presentan descripciones para lagos, localizados entre los 39 y 51° S, encontrándose una baja riqueza de especies y un alto predominio de los

copéodos calanoideos, siendo uno de los factores reguladores de la estructura zooplanctónica las condiciones tróficas (Marinone *et al.*, 2006).

Tabla 1. Localización geográfica, altitud, conductividad, y especies reportadas para sitios estudiados en el río Loa, norte de Chile (Cf. De los Ríos *et al.*, en prensa).

	<b>Santa Bárbara</b> 21° 58.7' 68° 36.7'	<b>Conchi</b> 22° 00.5' 68° 36.7'	<b>Salado</b> 20° 20.4' 68° 39.2'	<b>Chiu-chiu</b> 20° 20.4' 68° 39.2'	<b>Chacance</b> 22° 23.8' 69° 31.6'	<b>Salvador</b> 22° 23.8' 69° 31.6'	<b>Iberia</b> 21° 55.2' 69° 33.6'	<b>Sloman</b> 21° 51.2' 69° 30.9'	<b>Quillagua</b> 21° 39.5' 69° 32.2'
Altitud (m a.s.l)	3304	3272	2784	2768	1328	1328	1118	1085	866
Conductividad (mS/cm)	3,7	3,0	7,77	3,8	14,44	8,88	18,45	20,40	20,20
<i>C. dubia</i>		X							
<i>D. pulex</i>		X							
<i>C. sphaericus</i>			X						
<i>E. serrulatus</i>		X							
Unidentified Cyclopoida			X						
<i>H. panningi</i>			X		X		X	X	
<i>Cubacandona</i> spp.							X		
<i>H. fossamanchini</i>	X	X	X			X			
<i>H. kochi</i>	X	X	X						

Otro factor importante como regulador sería la exposición a la radiación ultravioleta, la cual ha presentado un aumento en los últimos ocho años, debido a la disminución del ozono en la atmósfera en zonas polares y subpolares (Marinone *et al.*, 2006). Por ende, la radiación ultravioleta puede penetrar en la columna de agua cuando se presenta muy transparente por oligotrofia y/o baja concentración de carbono orgánico disuelto (Marinone *et al.*, 2006). Esta condición de penetración de la radiación ultravioleta, puede afectar la composición de las comunidades zooplanctónicas, porque solo existirían especies tolerantes en condiciones de alta exposición a dicha radiación (Marinone *et al.*, 2006; De los Ríos *et al.*, 2008a).

En el presente estudio, se consideró información obtenida para humedales (temporales y permanentes) y lagunas poco profundas localizadas en la región de la Araucanía (Parque privado Cañi, 39° S - 71° W; Tabla 2; De los Ríos y Roa, en prensa). Se consideró información sobre concentración de clorofila y radiación ultravioleta para la zona de la ciudad de Temuco donde se tomaron las mediciones de radiación ultravioleta natural (De los Ríos *et al.*, 2007, 2008a; Figura 1).



Tabla 2, Localización geográfica, concentración clorofila “a”, y especies de crustáceos reportados para los sitios estudiados. (De los Ríos y Roa en prensa).

Sitio	Localización geográfica	Chlorophyll a $\mu\text{g/l}$	Especies
Del Risco	39°15' 71°42'	0.7	<i>Boeckella gracilis</i> Daday, 1902. <i>Ceriodaphnia dubia</i> Richard, 1894 <i>Mesocyclops longisetus</i> Thiebaud, 1912.
Negrita	39°15' 71°42'	2.7	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>Daphnia pulex</i> De Geer, 1877. <i>C. dubia</i> <i>Chydorus sphaericus</i> O. F. Müller, 1785
De los Patos	39°15' 71°42'	10.6	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>D. pulex</i> <i>Diaphanosoma chilense</i> Daday, 1902.
Escondida	39°15' 71°42'	12.4	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>D. pulex</i> <i>C. dubia</i> <i>D. chilense</i> <i>Ch. sphaericus</i>
Seca	39°15' 71°43'	12.3	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>D. pulex</i> <i>C. dubia</i> <i>Ch. sphaericus</i>
Negra	39°15' 71°42'	0.7	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>Hyaella araucana</i> Grosso and Peralta, 1999.
Bella	39°15' 71°42'	0.7	<i>B. gracilis</i> <i>D. chilense</i>
Los Pastos	39°15' 71°43'	0.5	<i>B. gracilis</i> <i>M. longisetus</i> <i>C. dubia</i> <i>D. chilense</i>
Vaca Hundida	39°15' 71°42'	1.2	<i>B. gracilis</i> <i>D. pulex</i> <i>C. dubia</i> <i>D. chilense</i>

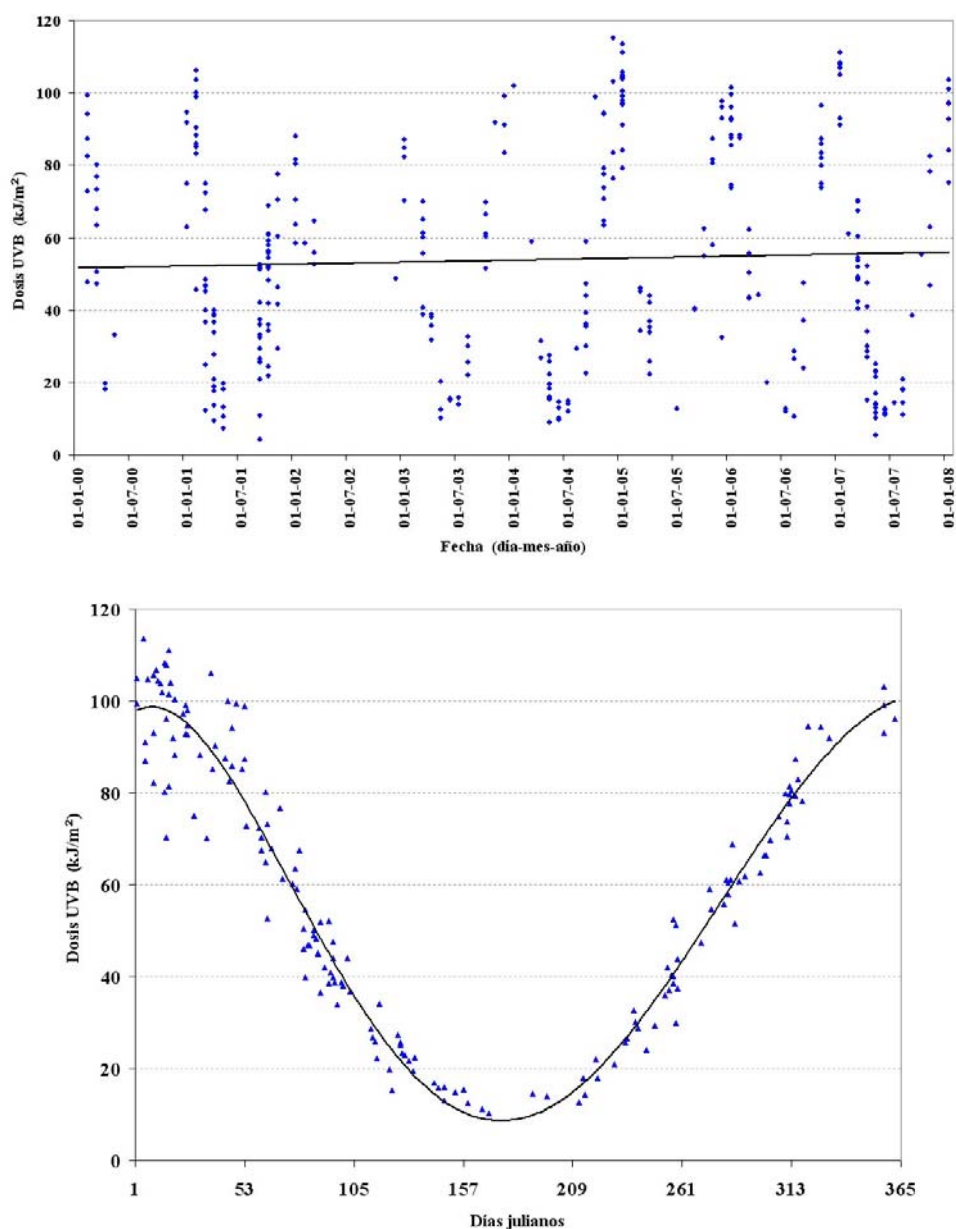


Figura 1. Resultados de dosis de radiación ultravioleta B para Temuco: 1) Variación entre los años 2000 y 2008 (arriba). 2) Variación estacional días despejados entre los años 2000 y 2008 (abajo). (Cf: De los Ríos *et al.*, 2008a).

Los resultados de la radiación ultravioleta indican valores notablemente altos entre los años 2000 y 2008. De igual modo, se aprecia una alta incidencia en los meses de verano y primavera, y baja incidencia en invierno. Si bien los resultados están descritos para Temuco a 100 km de los sitios en estudio, ellos pueden extrapolarse para todos los lugares con similares latitudes dentro la región de la Araucanía (De los Ríos *et al.*, 2007).

El bajo número de especies reportadas en el estudio, se debería a la oligotrofia (De los Ríos y Roa en prensa; De los Ríos *et al.*, 2007). Recientemente se ha propuesto que el incremento de la penetración de la radiación ultravioleta en la Patagonia, sería otro factor regulador importante de la riqueza de especies, ya que en condiciones de alta

exposición a la radiación ultravioleta, habría una baja riqueza de especies, existiendo solo aquellas más tolerantes (Marinone *et al.*, 2006). Las descripciones de De los Ríos *et al.* (2007), son las únicas que describen la ecología de crustáceos litorales en lagos chilenos, este estudio demostró que existiría una relación directa de la riqueza de especies con la protección contra la radiación ultravioleta (brindada por la concentración de carbono orgánico disuelto) y concentración de clorofila.

### **TERCER CASO: HUMEDALES SUD PATAGÓNICOS (51° S, REGIÓN DE MAGALLANES Y ANTÁRTICA CHILENA).**

La zona sur de la Patagonia (51-54° S) está caracterizada por un clima sub-polar y la presencia de muchos ecosistemas lacustres, tales como lagos grandes, profundos y oligotróficos (Soto *et al.*, 1994), junto con lagunas poco profundas ya sean temporales o permanentes, localizadas en zonas glaciares en los 51° S (Soto *et al.*, 1994), y en zonas más australes, hay numerosas lagunas superficiales temporales o permanentes, las cuales presentan una riqueza relativamente alta de especies y un marcado endemismo en la comunidad zooplanctónica (Menu-Marque *et al.*, 2000). Además, estas lagunas presentan una alta variación en sus niveles de conductividad y salinidad lo cual es un regulador importante de la comunidad zooplanctónica (De los Ríos *et al.*, 2008b).

Esta zona ha presentado cambios climáticos en las últimas décadas, los cuales han generado consecuencias a gran escala (De los Ríos *et al.*, 2008b). Estos cambios climáticos podrían afectar los numerosos cuerpos de agua superficiales de la zona, considerando que la exposición a fuertes vientos y un clima semiárido, puede generar una alta evaporación, lo cual explicaría la presencia de lagos con altos niveles de salinidad y conductividad (Soto *et al.*, 1994; De los Ríos *et al.*, 2008b). Los primeros datos de análisis climático indicaron un aumento de la humedad relativa y la evaporación entre los años 1990 y 2006 (De los Ríos *et al.*, 2008b), no encontrándose grandes variaciones en la temperatura, y existiendo alternados años con altas y bajas precipitaciones (De los Ríos *et al.* 2008b)

Por otra parte, las imágenes satelitales, indican la presencia de numerosas lagunas superficiales (Figura 2), de éstas se destaca, la situación de la laguna Cisnes, que originalmente fue descrita como laguna permanente, (Soto *et al.*, 1994), pero según la imagen satelital del año 2007, esta laguna, así como otras, pasaron por proceso de desecación, lo cual se demuestra por el color gris, a diferencia del color negro de las lagunas permanentes (Figura 2).

En las tres imágenes de arriba correspondientes a los años 1986, 2001 y 2006, no se observan cambios en 1986 y 2001. En la fila inferior se tiene el detalle de lagunas que han presentado cambios entre los años 2001 y 2006. Estas imágenes satelitales corresponden a las bandas del infrarrojo cercano, en donde los cuerpos de agua aparecen en tono muy oscuro debido a su prácticamente nula reflectancia. En zonas con aumento de claridad, se debe a una relación directa con la reflectancia en algunas de las lagunas, lo que corresponde a un suelo desnudo húmedo, es decir, donde antes había agua ahora solo se presenta lodo (Cf: De los Ríos *et al.*, 2008b).

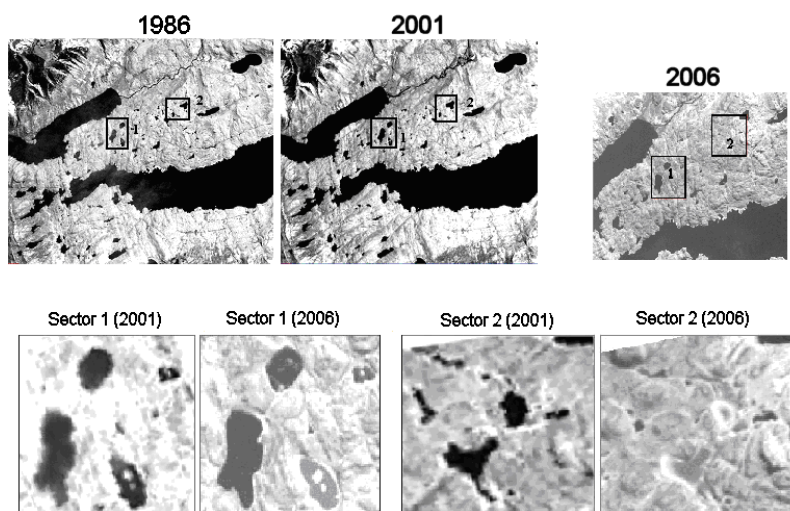


Figura 2. Imágenes satelitales de la zona del Parque Nacional Torres del Paine, donde se observan zonas con lagunas superficiales temporales y/o permanentes.

Tabla 3. Resultados estadísticos descriptivos de niveles de conductividad ( $\square$ S/cm) de especies y taxas de crustáceos zooplanctónicos lacustres reportados para la zona sur de la Patagonia (Cf. De los Ríos *et al.*, 2008b).

	Promedio	Mínimo	Máximo	N
<i>Boeckella gracilipes</i> (Daday, 1902)	3070,1	154,0	20301,0	10
<i>Boeckella meteoris</i> (Kiefer, 1928)	11887,7	5901,0	16561,0	3
<i>Boeckella. michaelsoni</i> (Mrázek, 1901)	3761,4	151,0	20301,0	7
<i>Boeckella popoensis</i> (Marsh, 1906)	16560,0	Sin datos	Sin datos	1
<i>Boeckella poppei</i> (Mrázek, 1901)	2835,7	151,0	20301,0	26
<i>Parabotreas sarsi</i> (Mrázek, 1901)	2972,1	154,0	16561,0	18
Copepoditos ciclopoideos	2637,3	151,0	16561,0	12
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller 1785)	2015,9	151,0	6140,0	9
<i>Daphnia dadayana</i> (Paggi, 1999)	1295,8	151,0	6140,0	13
<i>Daphnia obtusa</i> (Kurz, 1874)	1660,2	553,0	3449,0	6
<i>Daphnia pulex</i> (Scourfield, 1877)	2852,8	154,0	20301,0	15
<i>Neobosmina chilensis</i> (Daday, 1902)	4499,5	151,0	20301,0	11
<i>Branchinecta</i> spp.	607,4	420,0	962,0	7

Los resultados de los niveles de conductividad en que aparecieron las especies (Tabla 3), tuvieron homogeneidad de varianza ( $F = 1,660$ ;  $P > 0,090$ ), y el análisis de varianza no demostró diferencias significativas ( $F = 1,455$ ; Nivel de confiabilidad 0,05; Grados de libertad: 11, 125;  $P > 0,157$ ). Si bien no hay diferencias significativas, se podría observar la presencia de organismos propios de bajos niveles de conductividad, como *Branchinecta* spp, *Daphnia dadayana*, *D. obtusa*, *Chydorus sphaericus* y *Boeckella gracilipes* (Tabla 2). Por otro lado, se observaron especies muy tolerantes a amplios niveles de conductividad, siendo principalmente copépodos calanoideos como *B.*

*brasiliensis*, *B. brevicaudata*, *B. gracilipes*, *B. michaelsoni*, *B. poppei*, *Parabroteas sarsi* y cladóceros como *D. pulex* y *Neobosmina chilensis* (Tabla 2).

La presencia de una relativamente alta riqueza de especies de crustáceos observada en el presente estudio, coincide con similares reportes para la Patagonia Argentina e islas Subantárticas (Menu-Marque *et al.*, 2000). Los estudios ecológicos solo están restringidos para la Patagonia chilena, los cuales mostraron que la salinidad tiende a regular la presencia y ausencia de especies de crustáceos zooplanctónicos (De los Ríos *et al.*, 2008b), aunque Soto *et al.*, (1994) proponen, además, un efecto combinado entre la conductividad y las condiciones tróficas.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por los proyectos DGI-CDA 2007-01 y la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Católica de Temuco.

## BIBLIOGRAFÍA

- DE LOS RÍOS, P.; ADAMOWICZ, S. y WITT, J.D.S. (En prensa) Aquatic fauna on the driest desert on earth: first report on the crustacean fauna of the Loa river (Atacama desert, Antofagasta region, Chile). *Crustaceana*.
- DE LOS RÍOS, P. y ROA, G. (En prensa). Crustacean species assemblages in mountain shallow ponds: Parque Cañi (38°S, Chile). *Zoología-Curitiba*
- DE LOS RÍOS, P.; NORAMBUENA, J. y VEGA, M. 2009. Situación actual del río Loa, amenazas y posibles consecuencias a su agricultura rural. Efecto de los cambios sobre la salud humana y la seguridad alimentaria. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 216-224 p.
- DE LOS RÍOS, P., ACEVEDO, P.; RIVERA, R. y ROA, G. 2008a. Comunidades de crustáceos litorales de humedales del norte de la Patagonia chilena (38° S): rol potencial de la exposición a la radiación ultravioleta. *Boletín del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo* (en prensa). 209-218 p.
- DE LOS RÍOS, P., ACEVEDO, P.; SOTO, D. y NORAMBUENA, J. 2008b. Efectos potenciales a largo plazo y sus consecuencias en la diversidad de crustáceos de aguas continentales en el sur de la Patagonia (51-53° S, Chile). *Boletín del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo* (en prensa) 219-232 p.
- DE LOS RÍOS, P., HAUENSTEIN, E., ACEVEDO, P. y JAQUE, X. 2007. Litoral crustaceans in mountain lakes of Huerquehue National Park (38° S, Araucanía region, Chile). *Crustaceana* 80 (4): 401-410.
- IRIARTE, A., LOBOS G.A., y JAKSIC, F.M. 2005. Invasive vertebrate species in Chile and their control and monitoring by governmental agencies. *Rev. Chilena Hist. Nat.*, 78: 143-151.
- MARINONE, M.C.; MENU-MARQUE, S.; AÑÓN-SUAREZ, D.; DIÉGUEZ, A.; PÉREZ, M.C.; DE LOS RÍOS, P.; SOTO, D. y ZAGARESE, H.E. 2006. UV radiation as a potential driving force for zooplankton community structure in Patagonian lakes. *Photochem. Photobiol.*, 82 (4): 962-971.
- MENU-MARQUE, S.; MORRONE, J.J. y LOCASCIO DE MITROVICH, C. 2000. Distributional patterns of the South American species of *Boeckella* (Copepoda, Centropagidae): a track analysis. *J. Crust. Biol.* 20 (2): 262-272.
- NIEMEYER, H., y CERECEDA, P. 1984. Hidrografía. Colección Geografía de Chile, VIII. Instituto Geográfico Militar del Ejército de Chile. Santiago de Chile. 320 p.

- PEROTTI, M.G., DIÉGUEZ, M.C. y JARA, F.G. 2005. Estado del conocimiento de humedales del norte patagónico (argentina): aspectos relevantes e importancia para la conservación de la biodiversidad regional. *Revista Chilena de Historia Natural* 78: 723-737.
- SOTO, D.; CAMPOS, H.; STEFFEN, W.; PARRA, O. y ZÚÑIGA, L. 1994. The Torres del Paine lake district (Chilean Patagonia): A case of potentially N-limited lakes and ponds. *Arch. Hydrobiol.*, 99: 181-197.
- VILLAGRÁN, C.; ROMO, M. y CASTRO, V. 2003. Etnobotánica del sur de los Andes de la primera región de Chile: un enlace entre las culturas altiplánicas y de las quebradas altas del Loa superior. *Chungará*, 35(1): 73-124.

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TENDENCIAS EN CAUDALES MÁXIMOS EN RÍOS ARGENTINOS

*Statistical Analysis of trends for extreme flows in Argentinean rivers*

Rafael S. Seoane\*<sup>1</sup> y Ana C. Callau<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA)-Instituto Nacional del Agua- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina. Departamento de Hidráulica.  
Avenida Las Heras 2214 3 Piso.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA)-Instituto Nacional del Agua.  
\*rseoane@fi.uba.ar

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es detectar la presencia de tendencias en las series de los caudales anuales máximos en cuencas ubicadas en distintas regiones de la República Argentina. Este análisis es útil para la evaluación de los posibles impactos de las tendencias sobre las estimaciones de los caudales usados en el diseño de obras hidráulicas en Ingeniería.

El estudio de las propiedades estadísticas de los caudales extremos se fundamenta en la existencia de las denominadas grandes presas (con alturas mayores de quince metro) diseñadas con modelos matemáticos e información hidrológica observada a principios del siglo pasado.

La metodología propuesta permite estudiar la presencia de cambios en los sistemas hidrológicos analizando series de caudales máximos. Las pruebas no paramétricas aplicadas fueron: Mann-Kendall para la identificación de la presencia de tendencias y Pettitt para la de punto de cambio.

Se seleccionaron series de caudales máximos con registros extensos de cuencas con respuestas hidrológicas diferentes, como son las observadas en los ríos: Paraná (Posadas y Corrientes), Neuquén (Paso de Indios) y Limay (Paso Limay).

Los resultados de la prueba de Mann-Kendall indican que las series de los ríos Neuquén y Paraná presentan tendencias positivas significativas (nivel de significación del 5% y 10%) y la prueba Pettitt identifica a la década de los setenta como los años de cambio, al inicio para el Neuquén y a partir de 1975 para las series del río Paraná.

**Palabras clave:** caudales máximos, pruebas estadísticas, tendencias.

## SUMMARY

The main goal of this work was to identify trends of annual floods in several catchments in Argentina. This analysis is useful to evaluate the possible impact that trends have over flows that will be used to design hydraulic structures.

The study of the statistical properties of extreme flows is fundamental for large dams (height greater than 15 meters) that were designed using mathematic models and hydrologic and meteorological data observed in the 20<sup>th</sup> century.

The proposed methodology studies changes in the hydrological systems and analyzes extreme flow series. Non parametric tests were applied: Mann-Kendall to detect trends and Pettitt to identify points of change.

The extreme flow series were chosen for catchments with different hydrological responses and long records. The series were observed in the following rivers: Paraná (Posadas and Corrientes), Neuquén (Paso de los Indios) and Limay (Paso Limay).

The Mann-Kendal test detected positive trends (signification level 5%) in the Paraná and Neuquén rivers and the results of the Pettitt test show the 70's as a point of change in the 20<sup>th</sup> Century.

**Key words:** extreme flow, statistical tests, trends.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es discutir la importancia de los posibles efectos del calentamiento global sobre una componente del ciclo hidrológico (caudal) utilizada para estimar los parámetros de diseño de obras hidráulicas. El problema es importante debido a que, relativamente pequeños cambios climáticos pueden producir significativos problemas en los recursos hídricos de distintas regiones y especialmente en cuencas hídricas ubicadas en zonas áridas y semiáridas.

Numerosas obras hidráulicas son de propósito múltiple, si bien la mayoría de ellas tienen como un objetivo fundamental la producción de energía o el abastecimiento para riego, contribuyen en forma sustantiva en el control de los escurrimientos para reducir los impactos sociales y económicos de la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos.

Entre los procesos hidrológicos más importantes para la Ingeniería se encuentran: la transformación precipitación-caudal y el análisis de valores extremos de variables hidrológicas (por ejemplo, la intensidad de las precipitaciones o los caudales máximos instantáneos anuales).

Los últimos eventos hidrológicos observados en el mundo y en nuestro país, y los resultados presentados en las últimas conferencias internacionales sobre el tema, muestran la importancia del problema. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ha señalado la importancia de distintos eventos ocurridos en América Latina, entre los cuales se señalan las inundaciones en nuestro Litoral.

Es importante recordar que en todos los casos anteriores las dos ciencias involucradas: Hidrología e Ingeniería desarrollan sus métodos y modelos con una hipótesis subyacente muy importante: las series temporales de las observaciones registradas en el pasado proveen la información de la estructura de los procesos aleatorios que continúan sin modificarse en el futuro. Es decir, no cambian sus propiedades estadísticas con el tiempo.

Esta última característica llevaba directamente a la idea de que contar con series hidrológicas más extensas permitía alcanzar las estimaciones más precisas para el diseño de obras hidráulicas. En la actualidad se presenta un nuevo problema, las observaciones de los períodos más recientes pueden resultar más representativas de los procesos hidrológicos actuales que las registradas en el pasado.

Dawdy (2007) señala que la Ingeniería está asociada a la necesidad de la predicción de variables hidrológicas y que numerosas técnicas de predicción podrían perder su validez rápidamente, dado que no podrían predecir correctamente bajo las nuevas condiciones hidrológicas asociadas con el calentamiento global.



El proceso de estimación de la relación caudal máximo-período de retorno incluye la realización de las siguientes etapas: la selección de una función de densidad de probabilidad, la estimación de sus parámetros, y la posterior aplicación del modelo para definir el caudal máximo anual asociado con una probabilidad de ocurrencia.

En la actualidad, se están desarrollando nuevos modelos de valores extremos que permitan relacionar los caudales con las características de las tormentas (por ejemplo: el tamaño de celdas convectivas) para poder estudiar la sensibilidad de los caudales extremos a las condiciones hidrológicas actuales y futuras.

En nuestro país la mayor parte de la población vive en un área que representa el 24% del territorio nacional, contando esta región con la mayor disponibilidad de agua. En el 61% del área restante, se presentan condiciones de aridez y vive el 6% de la población. Nuevas investigaciones indican que para las regiones áridas y semiáridas, las estimaciones de caudales máximos anuales presentan una mayor incertidumbre comparadas con las regiones húmedas (Meigh *et al.*, 1997).

Esta realidad muestra la importancia del tema del control de inundaciones y plantea la necesidad de contar con un nuevo enfoque para el análisis de distintos escenarios hidrológicos futuros. En este punto, se debe señalar la necesidad del análisis del concepto de período de retorno y las condiciones de aplicación para situaciones no estacionarias (Clarke, 2006).

El método de estimación del caudal de diseño consiste en el análisis de frecuencia de los caudales máximos y es ampliamente utilizado en distintos países del mundo. En muchos casos se incluye una comparación con la CMP (Crecida Máxima Probable). En el caso del Bureau of Reclamation de los Estados Unidos, para obras con riesgo bajo o significativo y tamaños de estructuras pequeñas y medianas, la crecida de diseño se estima a partir de este tipo de comparación.

En otros países, la estimación de la crecida de diseño se realiza únicamente con el análisis de frecuencia, y los períodos de retorno se seleccionan en función del riesgo de la obra. Entre estos países están: Finlandia, Francia, Alemania, Italia, España, Sudáfrica, República Checa, Austria, Holanda, Suecia.

Los conceptos anteriores muestran la importancia de la detección de tendencia y del punto de cambio para valores máximos de caudales que se propone en este trabajo.

En la Argentina los trabajos de Pasquini y Depetris (2007), Flamenco y Valdés (2001), García y Mechoso (2005) y Menéndez (2003) analizan la presencia de tendencias en series de caudales observados en distintas escalas temporales.

Los conceptos anteriores llevaron a desarrollar un análisis de los caudales máximos observados en algunos importantes sistemas hidrológicos de Argentina.

Las pruebas no paramétricas de Mann-Kendall y de Pettitt fueron aplicadas para la detección de tendencia y punto de cambio, también se aplicó el gráfico de CUSUM para analizar la importancia de los apartamientos de la serie de caudales máximos en términos medios. El trabajo incluye un análisis de la significación de utilizar distintos períodos para realizar la estimación de la relación caudal máximo-período de retorno.

## **MATERIALES y MÉTODOS**

La metodología propuesta para este trabajo consta de las siguientes etapas: la aplicación de distintas pruebas estadísticas (no paramétricas) para la detección de tendencias en series de caudales máximos anuales y un análisis de la importancia del tamaño de los registros utilizados. Se estudia el efecto de los puntos de cambio sobre los criterios de

diseño de las obras civiles ajustando las distintas sub-series identificadas y estimando los caudales asociados a distintos períodos de retorno.

### DetECCIÓN DE TENDENCIAS

Los cambios en regímenes hidrológicos pueden ser consecuencia de distintos factores, como pueden ser: la variabilidad y/o cambio en el clima, en los usos del suelo, o la puesta en funcionamiento de un embalse, y se pueden analizar con la aplicación de pruebas para la detección de tendencias.

La importancia de este análisis está asociada con la aplicación del concepto de período de retorno utilizado ampliamente en la Ingeniería como criterio de diseño de obras hidráulicas. El período de retorno es la cantidad promedio de años hasta que ocurra el primer caudal de magnitud mayor o igual que un valor crítico. La forma convencional de estimar un caudal asociado a un período de retorno supone, entre otras, la propiedad de la estacionariedad en la serie utilizada.

La presencia de tendencias en las series de caudales indica un régimen hidrológico cambiante, es decir, no estacionario, lo que implica una necesaria redefinición del concepto de período de retorno. Las tendencias de registros extremos de caudal pueden ser detectadas a través de métodos paramétricos y no paramétricos.

### Prueba no paramétrica Mann-Kendall

La prueba de Mann-Kendall (MK) es el test no paramétrico más conocido para identificar tendencias en los valores de una variable hidrológica. Por tratarse de un método no paramétrico, la prueba tiene la ventaja de que no hay necesidad de suponer una función de densidad de probabilidad de la variable a ser analizada, ni de la naturaleza de la tendencia (lineal, curvilínea, etc.). Esta prueba fue aplicada por varios autores para estudiar la presencia de tendencias en variables hidrometeorológicas (Hirsch *et al.*, 1982; Lettenmaier *et al.*, 1994; Westmacott y Burn, 1997; Yue *et al.*, 2003; Cunderlik y Burn, 2004).

Esta prueba estadística no-paramétrica tiene como propósito detectar la existencia de tendencia monótona o cambio, gradual o súbito, creciente o decreciente, durante un intervalo de tiempo, sin determinar el momento de ocurrencia del mismo. La prueba supone que los datos  $(x_1, \dots, x_n)$  son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas. Las hipótesis de la prueba se presentan a continuación:

$H_0$ ) Los datos  $(x_1, \dots, x_n)$  corresponden a una muestra de  $n$  variables aleatorias, independientes e idénticamente distribuidas.

$H_1$ ) Las distribuciones de  $x_j$  y  $x_k$  no son idénticas para todos los  $k, j < n$  con  $k \neq j$ .

Para aplicar la prueba se estiman los siguientes estadísticos:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

donde:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{si } \theta > 0 \\ 0 & \text{si } \theta = 0 \\ -1 & \text{si } \theta < 0 \end{cases}$$

La distribución de S, bajo la hipótesis de que no existe tendencia, es asintóticamente normal y los valores teóricos de la media y la varianza son:

$$E(S) = 0$$

$$Var(S) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18}$$

donde N es la longitud total de la serie, t representa la longitud de valores repetidos de la variable en la serie y  $\sum t$  simboliza la suma sobre el número de empates.

Se puede asociar el valor del estadístico S al de la variable Z, normal estandarizada, según:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

El nivel de significación de la prueba es la probabilidad de cometer el error de rechazar  $H_0$  cuando esta hipótesis es cierta. Para la prueba de MK, el valor p es la probabilidad de que una variable aleatoria normal estándar tome valores en módulo mayores que el valor calculado de  $|Z|$ . Para que el nivel de significación de la prueba sea  $\alpha$ , la hipótesis nula  $H_0$  se rechaza si  $|Z| > z_{\alpha/2}$ , lo que es equivalente a que  $p < \alpha$ .

La prueba de Mann-Kendall sirve para detectar tendencias en series. La magnitud de la tendencia puede expresarse mediante la pendiente, es decir, cambio por unidad de tiempo, lo que no implica suponer que la tendencia es lineal en la media del proceso.

### Gráfico de CUSUM

Si existe una tendencia, se debe verificar si la forma de la función de densidad de probabilidad adoptada para cada río varía según las series observadas antes y durante la tendencia.

El gráfico de CUSUM (Cumulative Sum) se utiliza para detectar a partir de qué observación se producen cambios en la media del proceso. Este consiste en graficar la suma acumulada de los desvíos entre cada observación y el valor medio de la muestra. En el gráfico se presenta  $S_m$  en función del número de muestra m. Se estima  $S_m$  para cada observación  $Q_i$  con la siguiente fórmula:

$$S_m = \sum_{i=1}^m (Q_i - \bar{\mu})$$

El valor  $\bar{\mu}$  es el valor medio de la muestra y  $Q_i$  es la observación i de la muestra.

La determinación de los diferentes períodos de observación permite comparar a las sub-series a partir de las características estadísticas de cada una.

### **Prueba no paramétrica de Pettitt**

La prueba de Pettitt es no paramétrica y se utiliza para identificar posibles puntos de cambio en las series analizadas. Esta prueba consiste en comparar distintas sub-series, y presenta los siguientes indicadores:

$$U_{t,T} = t \sum_{j=1}^{t-1} \text{sign}(x_t - x_j)$$

Para estimar la probabilidad significativa del punto de cambio, se utiliza la siguiente ecuación:

$$p(t) = 1 - \exp\left(\frac{-6U_{t,t}^2}{T^3 + T^2}\right)$$

Siendo T la cantidad de registros de la serie.

### **INFORMACIÓN HIDROLÓGICA BÁSICA UTILIZADA**

Las series de caudales máximos seleccionados para realizar el análisis corresponden a distintos sistemas hidrológicos, que presentan diferentes regímenes de alimentación. Estas series fueron observadas en cuencas con distintas características hidrológicas y niveles de aprovechamiento de los recursos hídricos. Las estaciones de aforo utilizadas presentan una cantidad importante de registros, factor que puede influir en los resultados obtenidos, como se demuestra en el presente trabajo.

El primer sistema analizado es el del río Paraná y por su importante oferta hídrica esta región presenta la mayor concentración de población, desarrollo urbano y actividad económica del país. La cuenca presenta un clima tropical con precipitaciones concentradas en los meses de verano, que establecen el régimen del río hasta su confluencia en el río De La Plata con predominio de caudales de verano-otoño. Se analizan las dos siguientes series de caudales máximos registradas en las estaciones ubicadas sobre el río Paraná: Posadas (Ita Cuá) y Corrientes. La primera está ubicada aguas arriba de la confluencia del río Paraguay y Paraná y la segunda aguas abajo de esta descarga. La presa de Yacyretá está ubicada sobre el río Paraná y presenta una potencia instalada de 3.200 MW. La energía generada abastece al 15 % del total de la demanda de electricidad argentina. Este río es la principal vía navegable del país y en la cuenca del Paraná medio se encuentran importantes asentamientos humanos e industriales.

El segundo sistema analizado es el del río Negro. Los ríos pertenecientes a este sistema nacen en la Cordillera de los Andes y aumentan su caudal con el derretimiento de la nieve, el régimen hidrológico es del tipo pluvio-nival con año hidrológico abril-marzo. En general, estos ríos atraviesan gran parte de la zona árida y semiárida sin recibir aportes de importancia. En estos ríos se han desarrollado sistemas de embalse para la generación de energía eléctrica y la regulación de crecidas, e irrigación, conformando el 43% de la potencia hidroeléctrica instalada en Argentina. (Secretaría de Energía, 2004). En las márgenes de estos cursos se ubican los más importantes asentamientos poblacionales de la región sur del país. Entre las principales obras hidroeléctricas se encuentran: El Chocón, Piedra del Águila, Alicurá y Planicie Banderita. Las series

analizadas fueron registradas en los ríos: Neuquén (estación Paso de Indios) y Limay (estación Paso Limay).

A continuación se presenta en la Tabla 1 un resumen con las principales características de las cuencas estudiadas y la ubicación de la estación de aforos seleccionada para cada uno de los casos.

Tabla 1: Características de cuencas y estaciones utilizadas.

Río	Estación	Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Tipo de Clima	Latitud	Longitud
Paraná	Posadas	Paraná hasta confluencia	975375	Hiperhídrico	27°23'	55°53'
Paraná	Corrientes	Propia del Paraná Medio	1950000	Hídrico	27°16'	58°14'
Neuquén	Paso de Indios	Neuquén	30843	Árido	38°31'	69°24'
Limay	Paso Limay	Limay	26400	Semiárido	40°32'	70°26'

Se utilizó la clasificación climática propuesta en Moyano y Díaz (2006), que elaboraron un mapa con la clasificación de las distintas regiones de la Argentina de acuerdo con su correspondiente régimen hídrico.

Se presenta en la Tabla 2 la siguiente información: cantidad de años de las muestras analizadas (N), años de registro y los principales estadísticos de las series de máximos: media en m<sup>3</sup>/seg ( $\bar{Q}$ ), coeficiente de variación (CV), asimetría (S) y kurtosis (K).

Tabla 2: Estadísticos de las muestras de caudales máximos analizadas.

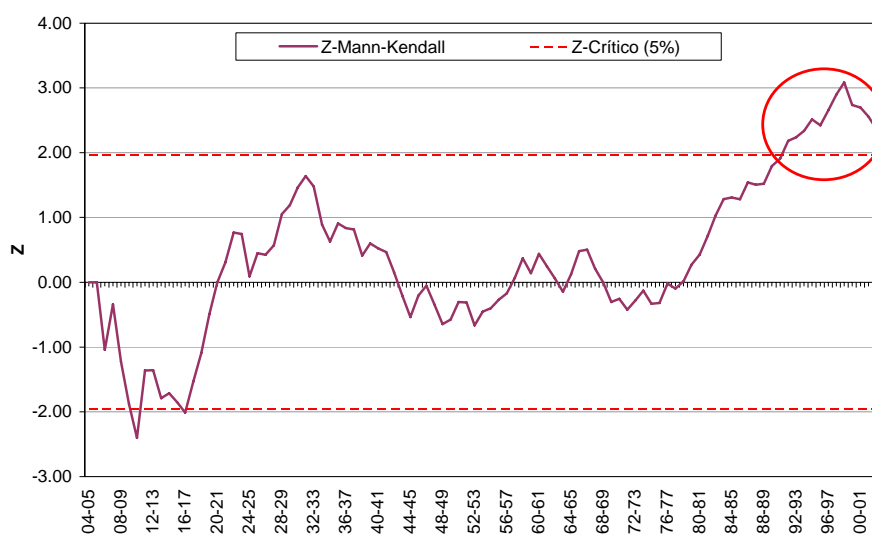
Río	Estación	N	Años de Muestra	$\bar{Q}$	CV	S	K
Paraná	Posadas	99	1901-1902 a 99-2000	25657	0.28	1.42	3.09
Paraná	Corrientes	99	1904-1905 a 2002-2003	29444	0.26	1.42	2.95
Neuquén	Paso de los Indios	106	1903-1904 a 2008-2009	1936	0.65	1.06	1.24
Limay	Paso Limay	106	1903-1904 a 2008-2009	2538	0.48	0.43	-0.82

## RESULTADOS

Los resultados de la prueba de Mann-Kendall muestran que las series de máximos que presentan tendencia creciente estadísticamente significativa, son las correspondientes a los ríos Paraná (en ambas estaciones) y Neuquén, mientras que el río Limay no presenta tendencia significativa.

Los cambios en las series observadas se estudian determinando, inicialmente, los diferentes períodos de análisis del registro total mediante el gráfico CUSUM (Vich *et al.*, 2006). La prueba Pettitt identifica como años de cambio en las series de los ríos Paraná a la década de los setenta y en el Neuquén a principios de la misma década, Tabla 3.

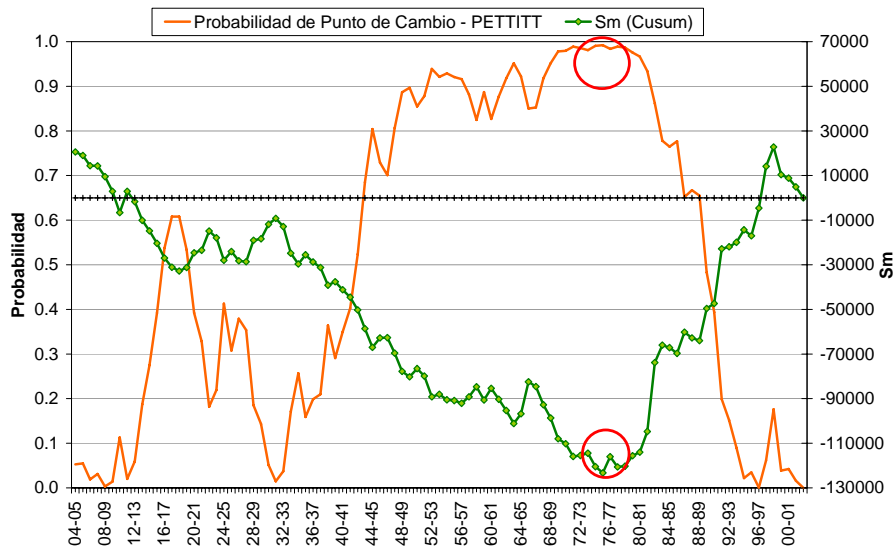
Tabla 3: Comparación de resultados obtenidos.



Resultados prueba Mann-Kendall

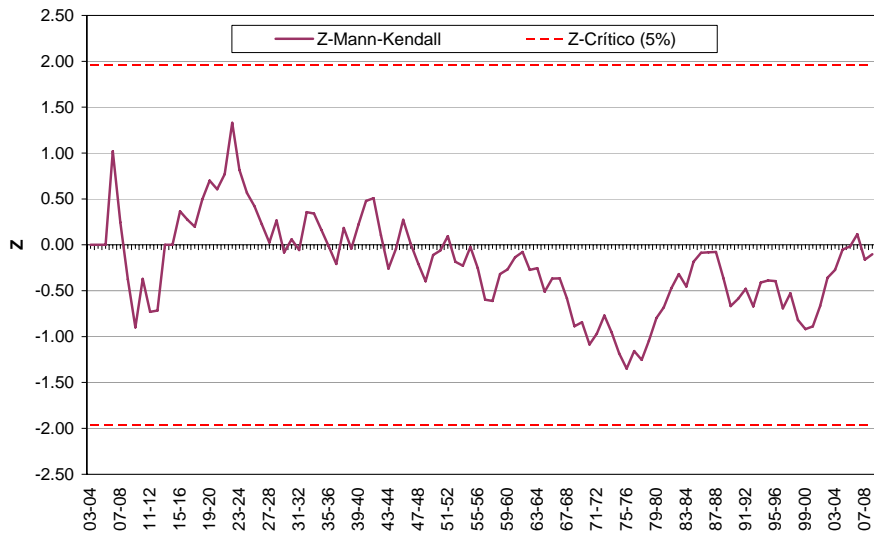
Río	Estación	MK	CUSUM	Pettitt
		p-value (final)	Año de Corte	Probabilidad
Paraná	Posadas	0.10	77-78	0.97
Paraná	Corrientes	0.01 <	75-76	0.99
Neuquén	Paso de Indios	0.01 <	70-71	0.94
Limay	Paso Limay	0.9	-	-

Se presentan las Figuras 1 y 2 los resultados de las pruebas aplicadas para dos de los casos analizados, uno en que la tendencia es significativa y el segundo caso en que no hay tendencia significativa.

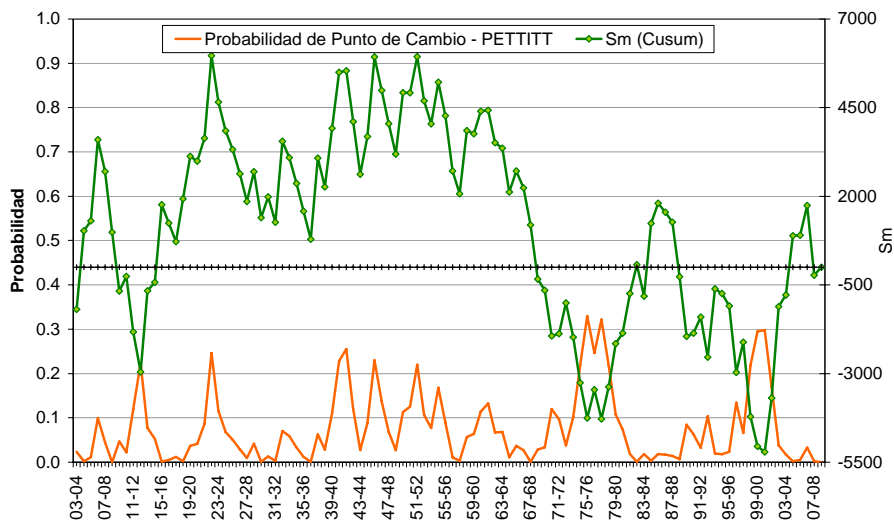


b) Resultados CUSUM y prueba de Pettitt

Figura 1. Resultados de serie con tendencia significativa. Río Paraná, Corrientes



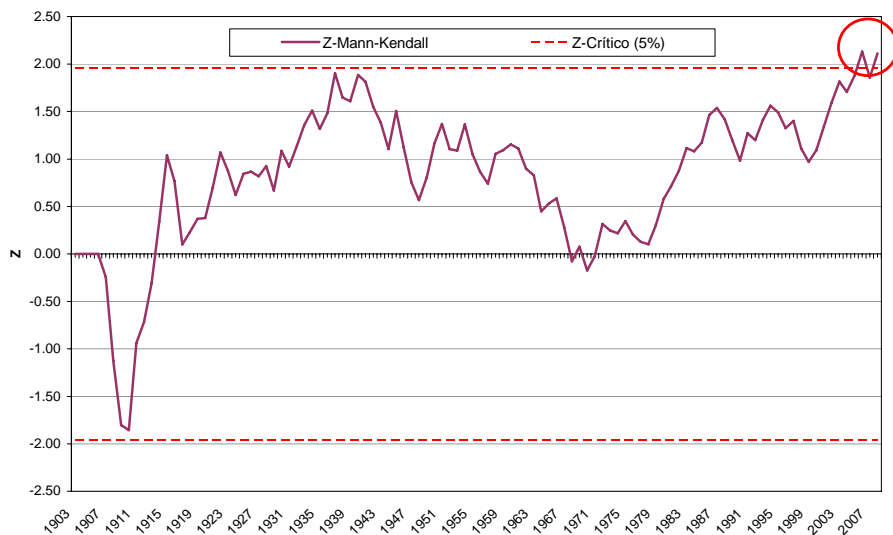
a) Resultados prueba Mann-Kendall



b) Resultados CUSUM y prueba de Pettitt

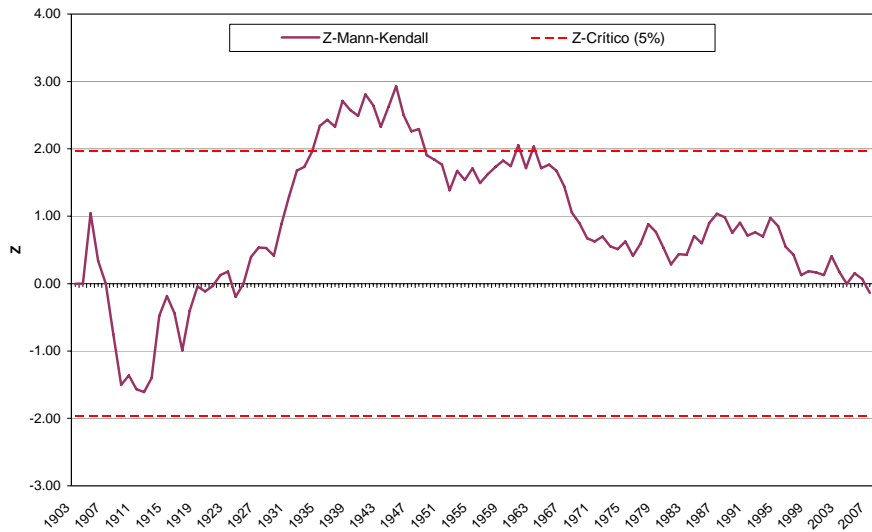
Figura 2. Resultados de serie con tendencia no-significativa. Río Limay, Paso Limay.

Adicionalmente se ha estudiado la tendencia de la series de caudales máximos registrados en el río Neuquén, estación Paso de Indios, pero separando las crecidas correspondientes a alimentación pluvio-nival y de fusión nival. Los resultados indican que las crecidas de origen pluvial-nival, es decir las registradas en invierno, presentan una tendencia positiva significativa, mientras que las crecidas registradas en verano, de alimentación debida a la fusión nival, no presentan tendencia.



a) Caudales máximos Pluvio-nival (Invierno)

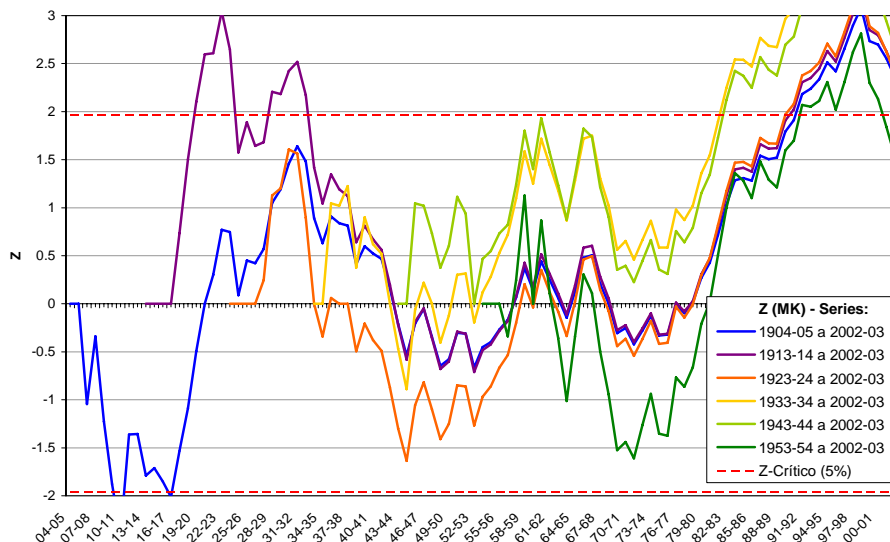




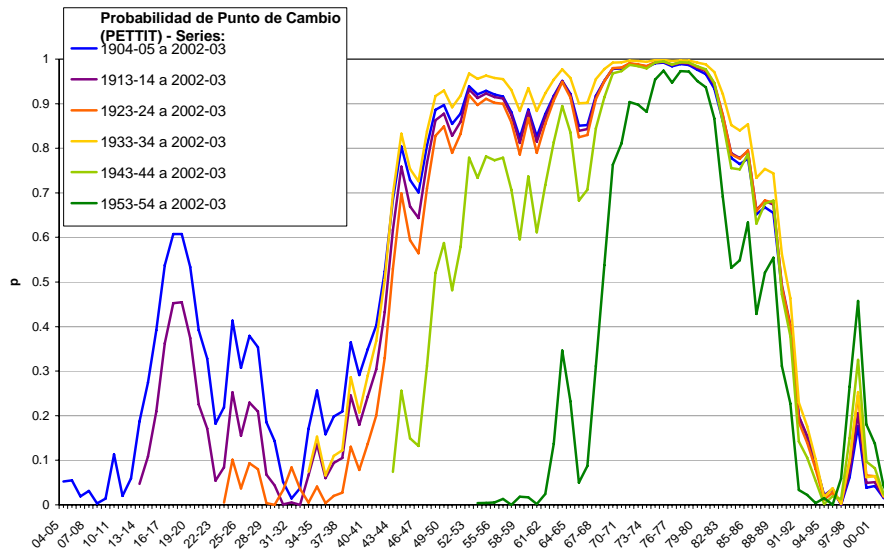
b) Caudales máximos Fusión Nival (Verano)

Figura 3. Resultados de la prueba de MK aplicados a las series de caudales máximos registrados en la estación Paso de Indios del río Neuquén.

Se realizó un experimento numérico para evaluar el efecto de la cantidad de observaciones sobre la capacidad de detección de la presencia de cambios en las series de caudales máximos. Se aplicaron las pruebas Mann-Kendall y Pettitt sobre distintas subseries (con diferentes cantidades de observaciones) de caudales máximos registrados en el río Paraná (Estación Corrientes). La prueba más influida por las distintas cantidades de datos es la de Mann-Kendall, mientras que Pettitt indica resultados muy similares para las distintas series.



a) Resultados prueba Mann-Kendall



b) Resultados prueba Pettitt

Figura 4. Resultados de las pruebas MK y Pettitt a distintas sub-series.

Las Figuras muestran que para el caso de la serie más corta (1953-54 a 2002-03) la prueba de MK está indicando que la tendencia no es significativa, mientras que para las demás series, que son más extensas, esta prueba indica que las series presentan tendencia significativa. En cuanto a la prueba Pettitt, las probabilidades asociadas al punto de cambio son altas para todas las sub-series analizadas, aunque para la sub-serie más corta esta probabilidad es ligeramente menor que para los otros casos. Por lo tanto, la longitud de la serie debería ser considerada al estudiar los resultados de la prueba de Mann-Kendall.

Desde un punto de vista de las aplicaciones a la Ingeniería resulta importante analizar el efecto de la utilización de una parte de la serie de valores extremos que resulte representativa de los procesos actuales. Para esto se han estimado los caudales asociados a distintos períodos de retorno, considerando la serie total y dos sub-series. Se ajustaron las series con un modelo GEV (Generalizado de Valores Extremos) y los parámetros se estimaron con el método de Máxima Verosimilitud (MV).

Los resultados indican que para un mismo período de retorno, el caudal estimado a partir de la sub-serie observada hasta la década del 70 es menor que para el caso del ajuste de la sub-serie observada en los últimos 30 años. La Figura 5 muestra un ejemplo de estos resultados para el caso de la serie de caudales máximos registrados en la estación Corrientes.

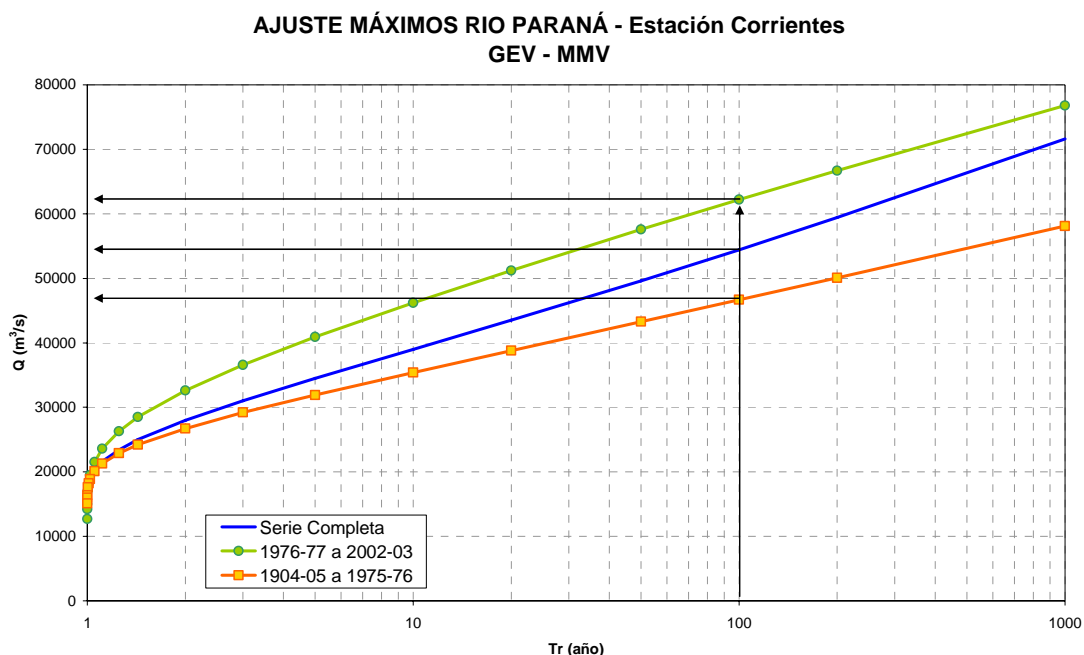


Figura 5. Ajuste a distintas sub-series de caudales máximos registrados en la estación Corrientes del río Paraná.

En la Tabla 4 se presentan los caudales asociados a un período de retorno de 100 años, estimados a partir de las tres series observadas en cada una de las estaciones estudiadas. Los resultados indican la variación de los caudales máximos anuales utilizando la segunda parte de la serie que puede alcanzar incrementos en la estimación del orden de hasta el 15 %.

Tabla 4: Análisis de la importancia de la identificación del punto de cambio para un período de retorno de 100 años.

Río	Estación	Q (Tr=100 años) – Ajuste GEV – MV		
		Serie Total	Sub-serie 1	Sub-serie 2
		Q (m <sup>3</sup> /s)	Variación Q (%)	Variación Q (%)
Paraná	Posadas	48800	-11%	+14%
Paraná	Corrientes	54400	-14%	+14%
Neuquén	Paso de Indios	6330	-21%	+15%

Estos resultados se deben a que las series de caudales máximos analizadas presentan tendencias significativas crecientes, por lo que las observaciones en el segundo período de registros son mayores que las observadas desde principio del siglo pasado.

Se puede concluir que para un mismo valor de período de retorno, adoptado como criterio de diseño de las obras hidráulicas, el caudal de diseño de la obra dependerá de la serie de registros utilizada para la estimación. Los resultados presentados en Tabla anterior muestran numéricamente la significación de la selección de la serie de valores

máximos cuando se diseña una obra hidráulica aplicando la relación período de retorno-caudal máximo.

## CONCLUSIONES

Los sistemas hídricos seleccionados presentan las características comunes de contribuir a la generación hidroeléctrica y al control de inundaciones en Argentina.

La primera cuenca resulta de vital importancia por su área, concentración de poblaciones e importancia de la afectación económica debida a las inundaciones. Los trabajos de Flamenco y Valdés (2001) han analizado los caudales medios anuales en distintos sistemas hidrológicos de Argentina.

En la cuenca del Plata, García y Vargas (1998) analizan la evolución de los caudales medios mensuales, Camillioni y Barros (2003) muestran la relación entre las precipitaciones y las crecidas máximas asociadas con la ocurrencia del evento de El Niño y Menéndez (2006) señala la presencia de tendencias de los caudales en distintas escalas de tiempo.

En nuestro trabajo, los resultados de la prueba de Mann-Kendall indican que las series de caudales máximos diarios observados en los ríos Paraná y Neuquén presentan tendencias significativas positivas y la serie observada en el río Limay no presenta tendencia significativa.

Desde un punto de vista de la Ingeniería Hidrológica los resultados de la prueba aplicada de Pettitt son una contribución importante que permite una identificación del año de la serie de máximos para el punto del cambio y el análisis de los efectos sobre los caudales asociados con distintos período de retorno.

Además, los puntos de cambio identificados con la prueba de Pettitt son coincidentes con los obtenidos mediante el gráfico de CUSUM, pero la significación de la primera prueba es la estimación de la probabilidad asociada al punto de cambio.

Este último resultado es un aporte para el análisis hidrológico-hidráulico de las futuras obras y la importancia de los análisis de la seguridad para las obras que fueron calculadas en distintos períodos a principios del siglo XX.

Es importante mencionar que la longitud y características estadísticas de las series de valores extremos podrían influir en los resultados de las pruebas. Una cantidad mínima de información hidrológica debería utilizarse para asegurar la significación de los resultados.

La segunda zona fue estudiada, entre otros investigadores, en Seoane *et al.* (2005), Seoane y López (2007). En el primero de los trabajos se analiza la cuenca del río Neuquén y en el segundo la presencia de tendencias en el río Limay. Un resultado interesante es la detección de puntos de cambio para la misma década para dos regiones que presentan características hidrológicas muy diferentes

Los resultados de un experimento numérico obtenido con las observaciones de las series históricas importantes por su longitud, muestran la significación de analizar la presencia de dos sub-series. En el caso de la serie de caudales máximos para un periodo de retorno de 100 años se alcanza hasta un 15% de diferencia en las estimaciones de los caudales máximos anuales

## BIBLIOGRAFÍA

ARNELL, N.W. 1989. Changing frequency of extreme hydrological events in northern and western Europe. *FRIENDS in Hydrology, IAHS*, 187: 237-249.

- CAMILLIONI I.A. y Barros, V.R. 2003, Extremes discharges events in the Paraná river and the climate forcing, *J. of Hydrology*: 94-106.
- CLARKE, R.T. 1994. Statistical modeling in hydrology. Editors John Wiley & Sons Ltd.
- CLARKE, R.T. 2006. Análisis estadístico de eventos extremos en un contexto no estacionario: 209-226. El cambio climático en la cuenca del Plata. Editores Vicente Barros, Robin Clarke y Pedro Silva Días. Instituto Interamericano para el Cambio Climático.
- CUNDERLIK, J.M. y BURN, D.H. 2004. Linkages between regional trends in monthly maximum flows and selected climatic variables. *Journal of Hydrologic Engineering ASCE*, 94: 246-256.
- DOUGLAS, E.M., R.M. VOGEL Y C.N. KROLL, 2002. Impact of streamflow persistent on hydrologic design. *Journal of Hydrologic Engineering*, 73: 137-146.
- FEALY, R. y J. SWEENEY, 2005. Detection of a possible change point in atmospheric variability in the North Atlantic and its effect on scandinavian glacier mass balance. *International Journal of Climatology*, 25: 1819-1833.
- FLAMENCO, E. A., y VALDÉS, J. B., 2001. Cambio del régimen hídrico en importantes ríos de la república Argentina. IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, Buenos Aires, Argentina.
- GARCÍA, N.O. y MECHOSO, C.R., 2005. Variability in the discharge of South American rivers and climate. *Hydrological Sciences Journal* 503: 459-478.
- GARCIA, N y W. VARGAS 1998. The temporal climatic variability in the Uruguay river and their climate forcing, *J. Hydrology*, 278: 94-106.
- GELLENS, D. y ROULIN, E. 1998. Streamflow response of Belgium catchments to IPCC climate change scenarios. *Journal of Hydrology* 210: 242-258.
- GUMBEL, E.J. 1941. The return period of flood flows. *Ann. Math. Stat*, 122: 163-190.
- HIRSCH, R.M.; SLACK, J.R. y SMITH, R.A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 181: 107-121.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE, 2001. Changes in hydrological drought frequency. Climate change: Working group II: Impacts, adaptation and vulnerability.
- KROLL, C.N.; LUZ J.; ALLEN. B. y VOGEL, R. 2004. Developing a Watershed Characteristic Database to Improve Low Streamflow Prediction. *Journal of Hydrologic Engineering*: 116-125.
- LETTENMAIER, D.P.; WOOD, E.F. y WALLIS, J.R. 1994. Hydro-climatological trends in the continental United States 1948-1988. *Journal of Climate* 74: 586-607.
- NIST/SEMATECH, 2006. e-Handbook of Statistical Methods, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, Capítulo 7.
- MENENDEZ, A. 2006. Tendencias hidrológicas en la Cuenca del Plata: 81-92. El cambio climático en la cuenca del Plata. Editores Vicente Barros, Robin Clarke y Pedro Silva Días. Instituto Interamericano para el Cambio Climático.
- MOYANO, C.M. y DÍAZ, R.A. 2006. Tierras secas en Argentina. Asociación Argentina de Agrometeorología. AADA. La Plata.
- PASQUINI, A.I., y DEPETRIS, P.J. 2007. Discharge trends and flow dynamics of South American rivers draining the southern Atlantic seaboard: An overview. *Journal of Hydrology*, 333: 385-399.
- SEOANE, R., VALDÉS, J. y MATA, L.J. 2005. Climate variability and climate change in Patagonian rivers. 26-36. pp Regional Hydrological Impacts of Climatic Change

- Impact Assessment and Decision Making. Edited by Stewart Franks, Thorsten Wagener, Eva Bøgh, Hoshin V. Gupta, Luis Bastidas & Carlos Nobre & Carlos de Oliveira Galvão Publ. 296
- SEOANE, R. y LÓPEZ, P. 2007. Assessing the effects of climate change on the hydrological regime of the Limay River basin. *Geojournal*, 70 (4): 251-256.
- SEOANE, R.S.; LOPEZ, P.M.; MOYANO, C.; CALLAU, A.; KOUTSOVITIS, M.E. y TOMAZIN, N. 2007. Análisis de la respuesta hidrológica en una cuenca bajo distintas hipótesis de cambio climático. *Informe final, Proyecto Institucional, INA*: 40-50.
- UNEP.1997. United Nations Environment Programme. World Atlas of desertification. Editors Middleton N. and Thomas D.
- VICH, A.I.; LÓPEZ P.M. y MARTÍNEZ, E. 2006. Detección de tendencias y cambios abruptos en el régimen fluvial de ríos de Argentina, con nacientes en la Cordillera de los Andes. Libro de Resúmenes del Simposio sobre Cambio Climático: Organizando la Ciencia para la Cordillera Americana CONCORD: 62-63.
- WESTMACOTT, J.R. y BURN, D.H. 1997. Climate changes effects on the hydrologic regime within the Churchill-Nelson River Basin. *Journal of Hydrology*, 202: 263-279.
- WOOD, T.R. 1987. Present-day hydrology of the River Severn. *Paleohydrology in Practice: A River Basin Analysis*: 79-97.
- YUE, S.; PILON, P.; PHINNEY, B. y CAVADIAS, G. 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*, 16: 1807–1829.
- YUE, S.; PILON, P. y PHINNEY, B. 2003. Canadian streamflow trend detection: Impacts of serial and cross-correlation. *Hydrological Sciences Journal* 481: 51–63.

# PERCEPCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO POR UNA COMUNIDAD GANADERA EN LOS HUMEDALES DEL SUR DEL PARAGUAY

*Perception of the Climate Change by a Livestock Community in the Wetlands of the  
South of Paraguay*

**Danilo Salas-Dueñas**

Fundación Moisés Bertoni Asunción – Paraguay.  
dsalas@mbertoni.org.py

## RESUMEN

A mediados del 2008, un equipo interdisciplinario desarrolló una investigación relacionada con el efecto del Cambio Climático sobre las actividades que desarrollan los habitantes de

Isla Umbú, una pequeña localidad del Paraguay, considerada como la cuenca lechera del Departamento de Ñeembucú. Este lugar fue escogido por su relativo aislamiento y forma de vida que depende en buena medida del estado de los humedales. Del mismo modo, la zona es altamente susceptible de ser afectada por los fenómenos de creciente fluvial acompañados de inundación al comportarse como una perfecta "caja de resonancia" de la oscilación climática de "El Niño"

Como resultado de la investigación se logró determinar que para los habitantes los principales efectos del Cambio Climático son sobre la infraestructura, los sistemas productivos, los aspectos sociales y ambientales; muchos de los cuales están directamente relacionados con las modificaciones que han tenido los humedales, especialmente como resultado de la ejecución de un proyecto de canalización que se implementó hasta el año 2001, en el marco de una política de "recuperación" de áreas consideradas como afectadas por inundaciones relacionadas con el fenómeno de "El Niño"

Igualmente, se identificaron por parte de las comunidades las principales limitaciones para enfrentar el Cambio Climático, entre las que sobresale el tema de información como el más relevante, pero al mismo tiempo el más deficiente. Finalmente las mismas comunidades han podido identificar acciones que a juicio de ellas son necesarias para enfrentar las nuevas condiciones ambientales.

**Palabras clave:** cambio climático, Paraguay, Isla Umbú, comunidades, percepción, limitaciones, acciones, adaptación

## SUMMARY

In the middle of 2008, an interdisciplinary team developed a research study on the effect of the climate change on the activities of the inhabitants of Isla Umbú, a small locality of Paraguay, considered the dairy region of the Department of Ñeembucú.

This place was selected because of its relative isolation and way of life that depends mainly on the state of the wetlands. Similarly, the zone is highly susceptible to be affected by the phenomenon of the rising river accompanied by flood as it behaves like a perfect "resonance box" of the climate oscillation of "El Niño"

As a result of this research, it was determined that, according to the inhabitants, the major effects of the Climate Change are those on Infrastructure, Productive Systems and Social and Environmental Aspects. Many of these effects are directly related to the modifications suffered by the wetlands, mainly as a result of a channelling project implemented until 2001 within the frame of a “recovery” policy of areas considered affected by floods related to “El Niño”

Likewise, the communities identified the main limitations to confront the Climate Change being the information the most relevant and deficient at the same time. Finally, the communities themselves have been able to identify the actions they think are necessary to confront the new environmental conditions.

**Key words:** climate change, Paraguay, Isla Umbú, communities, perception, limitations, actions, adaptation

## **INTRODUCCIÓN**

A mediados del 2008, técnicos de la Fundación Moisés Bertoni y estudiantes y profesores de la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Pilar desarrollaron en Isla Umbú, una pequeña localidad del Paraguay, localizada en el Departamento de Ñeembucú, una investigación relacionada con el efecto del cambio climático sobre las actividades cotidianas que sus habitantes desarrollan.

Esta localidad fue fundada en 1860, a 12 km al sur de su capital la ciudad de Pilar y es conocida como la cuenca lechera del Ñeembucú ya que produce el mayor volumen de leche que consume la ciudad de Pilar. Se conserva relativamente aislada, con algo menos de 4000 habitantes, rodeada de grandes humedales, muy cerca de la intercepción del río Paraguay por parte del río Paraná y

Este lugar fue determinado como objeto de esta investigación por su relativo aislamiento y forma de vida dependiente en buena medida del estado de los humedales, donde es posible de observarse el efecto que haya tenido el cambio climático en la zona.

Del mismo modo, la zona es altamente susceptible de ser afectada por los fenómenos de creciente fluvial acompañados de inundación al comportarse como una perfecta “caja de resonancia” de la oscilación climática de “El Niño” (Contreras, 2003)

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Como paso previo de la investigación se realizó en varios espacios una convocatoria de participación a la totalidad de la población, para desarrollar una jornada en la que participaron más de 45 adultos representantes de igual número de familias y con la participación de algunos de los estudiantes de la universidad con vínculos familiares directos en la comunidad, Previamente se había trabajado con los estudiantes para que ellos pudieran desarrollar las distintas dinámicas implementadas con los miembros de la comunidad y de esa forma facilitar el proceso de obtención de la información de modo homogéneo entre los grupos.

Se desarrollaron varias charlas y posteriormente trabajos dinámicos en cuatro grupos dirigidos a contestar una serie de preguntas acordes al trabajo desarrollado previamente con los mismos. Posteriormente se efectuaron entrevistas a profundidad con diversos referentes del área, especialmente tratando de cubrir los niveles socioeconómicos mas preponderantes, pequeños productores de lácteos y grandes ganaderos productores de carne.



En la mayoría de los casos, el idioma predominante fue el guaraní, dado que facilita a los participantes su participación, solamente algunas pocas personas que por dominio del castellano prefirieron desarrollar su participación en este idioma.

## **RESULTADOS**

### **Principales efectos del CC en Isla Umbú**

#### ***A-Infraestructura:***

- Obras realizadas años atrás con el objeto de recuperar áreas consideradas improductivas dado que periódicamente se inundaban, son obsoletas en algunos casos o en otras tienen efectos adversos, pues se ha detectado que los canales construidos para desecar áreas tienen impacto en época de grandes sequías lo que va en contra de los deseos y necesidades de los habitantes, pues en época de sequía los mismos no tienen agua, existe un cambio de la circulación del agua, se puede observar el deterioro y destrucción de canales, se acumula basura en los campos porque los canales de desagüe están taponados, se tiene una menor capacidad de los mismos por culpa de la suciedad y/o falta de agua.
- La sequía acentuada que afecta el estado de los caminos formando grandes arenales y áreas con mucho polvo. En la época de lluvia que es más corta que la media histórica, los caminos tienen mucha agua lo que no permite tránsito.
- La sequía prolongada tiene impacto en las casas, dado el tipo de construcción de barro, por lo que muchas están deteriorándose (rajaduras) al estar tanto tiempo bajo el sol y con una baja humedad.
- Debido al aumento de las tormentas en época de lluvia, la energía eléctrica sufre frecuentes cortes, e igualmente se requiere la compra de electrodomésticos para adaptarse a las nuevas condiciones ambientales (altas temperaturas, largos periodos sin agua, periodos más estacionales de grandes inundaciones, etc.)
- Algunas de las adecuaciones realizadas por los productores para subsanar la falta de agua durante largos periodos (tajamares y tanques australianos) son insuficientes, pues los efectos cada vez son más fuertes y son insuficientes en tamaño y capacidad.

#### ***B- Sistema Productivo:***

- Se han modificado los calendarios climáticos lo que tiene se traduce en pérdidas de cultivos agrícolas y forrajeros por exceso de lluvias y sequías y por la falta de capacidad de adaptación de los pequeños propietarios a las nuevas condiciones ambientales. Mantienen calendarios agrícolas que no son funcionales con las nuevas condiciones ambientales.
- Se ha acentuado la ocurrencia de fenómenos considerados como puntuales (heladas), causando una disminución en el rendimiento de la pastura cultivada. Igualmente, las altas temperaturas reinantes en un periodo de tiempo más extenso tienen un efecto en la reducción de la producción de leche, sin embargo, algunos fenómenos como el granizo han disminuido lo que se considera bueno para los cultivos, a pesar de la percepción de una disminución de la temperatura (hace más frío) y una mayor frecuencia en la neblina.
- Las condiciones ambientales son propicias para la aparición y aumento de plagas y enfermedades, en la agricultura y la ganadería.
- Rubros productivos no tradicionales, que estaban siendo implementados exploratoriamente son viables, debido los cambios que se están teniendo en el clima.

de la zona.

- Existe un aumento del costo de producción, debido a la pérdida en el peso de los animales y por lo tanto se requiere del traslado de una parte de ellos a nuevas áreas de pastoreo, lo cual tiene repercusión en los costos finales.

#### ***C-Social:***

- Se considera que hay un aumento de enfermedades respiratorias motivadas principalmente por las nuevas condiciones climáticas.
- Existe un aumento de la migración por la disminución de la productividad, lo que repercute en la desintegración familiar.
- Se tiene una mayor demanda de esfuerzo de trabajo para cubrir las tareas, lo que significa un aumento en la cantidad de las horas de trabajo en las fincas.
- Se aprecia una disminución de los recursos destinados por los habitantes para la educación y salud.
- El aumento del calor ha llevado a cambios en el horario de trabajo, existe una disminución de la atención del niño en clase por el calor. Igualmente, se han modificado los hábitos como la hora de dormir, la cual es ahora más tarde esperando una disminución en la temperatura
- Se han tenido que incorporar como parte de sus gastos económicos la compra de ventiladores y aire acondicionado

#### ***D-Ambiental:***

- Se ha apreciado una disminución de las áreas de humedales, lo que también se refleja en la disminución de la biodiversidad especialmente de aves.
- Las condiciones de altas temperaturas generan la explosión de algunos tipos de insectos y arácnidos considerados plagas para los humanos
- Con la disminución de las áreas de humedales producto de veranos más prolongados, se registra un aumento de la cacería de animales silvestres como carpincho, yacaré y kyja, debido a que estas especies se concentran en algunas zonas buscando agua.
- La práctica agrícola de quemar pastizales para utilizar su rebrote en la alimentación de animales se ha acentuado lo que tiene impacto negativo en la fauna, así como en la salud de los habitantes.
- Se ha detectado un aumento de la temperatura de pequeños reservorios de aguas lo que ha originado mortandades de peces y migraciones de otras especies.

#### **Principales limitaciones para enfrentar el CC en Isla Umbú**

- Se han detectado diversos elementos considerados clave por la comunidad, especialmente limitaciones en información y recursos humanos capacitados para responder a las nuevas condiciones ambientales
- Requieren mejorar, ampliar y dar mantenimiento adecuado a la infraestructura y , incluyendo recursos económicos para capacitar a funcionarios en el manejo y mantenimiento de las mismas.
- Dadas las nuevas condiciones se requiere diversificar las actividades económicas y dar asistencia técnica personalizada a cada productor, incluyendo actividades de seguimiento y concienciación con los mismos.
- Se considera que existe inacción por parte del estado en informar, capacitar y

promover mecanismos de adaptación a las nuevas condiciones, así como la promoción de mecanismos de subsidio para contener las pérdidas económicas.

- Es necesaria una mayor participación comunitaria en los procesos de capacitación, discusión y búsqueda de soluciones, incluyendo los trabajos comunitarios
- Igualmente, se considera muy limitada y puntual la labor de las entidades no gubernamentales.
- Se considera por parte de los habitantes que el marco legal ambiental existente no se aplica lo que genera un problema mayor y que algunas partes de la legislación están desactualizadas con las nuevas realidades ambientales.
- Igualmente, se detecta una serie de alternativas inexistentes, como es el caso de insecticidas o plaguicidas.

#### **Necesidades de información para enfrentar los efectos de CC a nivel local**

- Se precisa de información general básica adecuada a la realidad sobre el Cambio Climático, incluyendo posibles soluciones prácticas, esto bajo un programa de capacitación de amplio alcance donde las familias de lugares aislados puedan acceder a la misma.
- Se necesita precisar qué acciones pueden realizarse en épocas de sequía o inundación para mitigar los efectos del Cambio Climático.
- Igualmente, se precisa de información sobre variedades que se adapten a las nuevas condiciones climáticas, e información sobre técnicas de manejo de producción que permita mejorar las prácticas agrícolas y pecuarias.
- Conocer posibles fuentes de información a las que se pueda acudir con el objetivo de recibir capacitación sobre acciones a tomar en distintos momentos.
- Informaciones de comunidades con el mismo problema y con soluciones encontradas por ellos mismos.
- Tener información meteorológica con pronósticos a mediano y largo plazo.
- Contar con información sobre como enfrentar las nuevas enfermedades, incluyendo prácticas para evitarlas

#### **Acciones necesarias para enfrentar el Cambio Climático a nivel local**

- Campañas de difusión y educación por medios masivos de comunicación apropiados, programas de capacitación en temas relacionados con el Cambio Climático, buscando trabajar en el cambio de valores con los niños y la participación y ejemplo de los adultos.
- Implementación de tecnologías más eficientes para la producción (riego, construcción de reservorios de agua, etc.)
- Mejorar aspectos de organización comunitaria y de grupos de productores, así como la coordinación entre instituciones del estado.
- Contar con estaciones y pronósticos meteorológicos locales y regionales de mediano y largo alcance, incluyendo sistemas adecuados de difusión de los mismos.
- Promover la realización por parte de universidades e instituciones educativas investigaciones de acciones para mitigar y adaptarse a los efectos de los cambios climáticos, así como disponer de un banco de instituciones de referencia para acudir a las mismas.
- Desarrollo tecnológico y adaptación de tecnología a la realidad local dando prioridad al uso de recursos locales. Ej., Zoo cría, Piscicultura.

- Implementar prácticas conocidas para mitigar algunos efectos reconocidos como los fuertes vientos predominantes mediante cortinas rompevientos vegetales.
- Adecuación de la infraestructura, especialmente vial e hidráulica.
- Búsqueda de recursos por parte de las autoridades locales y regionales para implementar acciones y transparencia en la gestión de los mismos.
- Reconocer que el problema es permanente y no temporal, pues no es una moda, y por lo tanto debe ser enfrentado.

## **BIBLIOGRAFIA**

- CENTRO DE ESTUDIOS RURALES INTERDISCIPLINARIOS. 2000. La ecorregión de Ñeembucú: Infortunio, dignidad y sabiduría de sus antiguos pobladores, 206 p.
- CONTRERAS, J.R. 2003. El Valle Aluvial del río Paraguay como "Caja de Resonancia" de la Oscilación Climática "El Niño". Separata de Historia Paraguaya. Anuario de la Academia Paraguaya de la Historia. Volumen XLIII.
- DIARIO NOTICIAS. 2002. Chereta Paraguay. 164 p.
- DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS. 2004. Atlas de las Comunidades Indígenas en el Paraguay. 567 p.
- DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, Última Hora.2001. Atlas estadístico Paraguay 144 p.

# GENERACIÓN DE ÓXIDO NÍTRICO EN PLANTAS: EFECTO DEL PARAQUAT Y LA SUPLEMENTACIÓN CON NITRATO

*Nitric oxide generation in plant: effects of paraquat and nitrate supplementation.*

**Andrea Galatro, Natalia Gorojovsky, Agustina Buet y Marcela Simontacchi\***

PRALIB-Cátedra de Fisicoquímica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires. Junín 956 (C1113AAD) Ciudad de Buenos Aires

\*msimon@ffyb.uba.ar

## RESUMEN

La presencia de óxidos de nitrógeno en la atmósfera (óxido nitroso N<sub>2</sub>O; óxido nítrico, NO; dióxido de nitrógeno, NO<sub>2</sub>) incide en problemas ambientales tales como la formación de *smog*, la lluvia ácida y el efecto invernadero. Las fuentes principales de NO y NO<sub>2</sub> atmosférico son las emisiones de motores de vehículos y los procesos de combustión. A nivel biológico, los microorganismos del suelo y las plantas contribuyen en un 35% a la emisión global de NO.

Aunque aún faltan dilucidar aspectos de la síntesis de NO en el reino vegetal, los cambios ambientales como sequía, exposición a radiación UV y herbicidas pueden afectar la síntesis e incidir sobre las emisiones de NO desde los cultivos hacia la atmósfera.

En este trabajo analizamos posibles fuentes de NO en diferentes sistemas vegetales y el efecto de cambios en el medio de germinación de semillas de sorgo sobre el contenido endógeno de NO en los ejes embrionarios. Se estudió la adición de nitrato y de paraquat (PQ), herbicida frecuentemente empleado para control de malezas, sobre el contenido de NO. Los resultados sugieren que cambios en el ciclo del nitrógeno (por ejemplo por fertilización) y el empleo inadecuado de herbicidas pueden incrementar las emisiones de NO a la atmósfera en tierras cultivadas con un consecuente impacto ambiental.

El conocimiento de las fuentes de generación de NO en plantas y los factores ambientales que puedan afectarla, es fundamental a la hora de desarrollar estrategias destinadas a mitigar las emisiones de NO.

**Palabras clave:** óxido nítrico, paraquat, EPR.

## SUMMARY

The presence of nitric oxide in the atmosphere (nitrous oxide N<sub>2</sub>O; nitric oxide, NO; nitrogen dioxide, NO<sub>2</sub>) insides in environmental problems as smog generation, acid rain and greenhouse effect. The main sources of NO y NO<sub>2</sub> in the atmosphere are cars emissions and combustion processes. Microorganisms in soil and plants contribute to global NO emission in 35%. Although some aspects of NO synthesis in plants are not elucidated, environmental changes like dry, UV exposure and herbicide treatments could affect NO emissions form cultivated soils to the atmosphere. In this work, we analyzed possible NO sources in different vegetable systems and evaluated the effect of changes in the germination medium in the NO content of embryo sorghum axes. We

study the addition of nitrite and paraquat (PQ), an herbicide frequently employed to control weeds, in the NO content.

The data suggest that changes in nitrogen cycle (as fertilization) and an inadequate employment of herbicides could increase NO emissions to the atmosphere in cultivated soils with an environmental impact. Thus, the understanding of NO sources in plants, and the environmental factors that could affect this synthesis are important to develop methods to limit NO emissions.

**Key words:** nitric oxide, paraquat, EPR.

## INTRODUCCIÓN

Por sus efectos sobre la salud y sobre ciertos objetos o materiales, así como por su incidencia en la química atmosférica, los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ) se encuentran entre los contaminantes más importantes presentes en el aire. Es conocido que los mayores problemas ambientales que enfrentamos actualmente (*smog* fotoquímico, lluvia ácida, efecto invernadero) están relacionados con la presencia de estas especies (Fang y Mu, 2006). Existen dos reacciones principales por las que el NO, oxidándose, se transforma en  $\text{NO}_2$ ; una es con ozono, de la que resultan oxígeno y  $\text{NO}_2$ ; la otra es con radicales peróxido, que se producen por efecto de la luz ultravioleta a partir de los hidrocarburos presentes en la atmósfera. La acción de la luz da lugar al efecto inverso: disocia el  $\text{NO}_2$ , generando NO y ozono. La remoción del  $\text{NO}_2$  durante el día por reacción con radicales hidroxilo, da lugar a la formación de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) que es luego lavado por la lluvia (Aramendia *et al.*, 1996).

Los óxidos de nitrógeno que se encuentran en la atmósfera provienen principalmente de la combustión de fósiles (40%), quema de biomasa (25%) y de fenómenos naturales como los relámpagos. Además los suelos constituyen una fuente importante de NO y se estima que contribuyen en un 20% a la emisión total (Pang *et al.*, 2009). Los procesos que realizan los microorganismos presentes en el suelo, como ser denitrificación, nitrificación y reducción de nitrato a amonio generan  $\text{N}_2\text{O}$  y NO (Colliver y Stephenson, 2000).

La aplicación de fertilizantes y el cultivo de las tierras incrementa la emisión de NO por parte del suelo. La emisión total global de NO proveniente de los suelos se estima que está en un rango de 4 a 21 Tg N por año (Davidson y Kinglerlee, 1977). Si bien existe una gran incertidumbre en cuanto a las emisiones de NO, al efecto del canopeo en el intercambio de óxidos de nitrógeno entre la biosfera y la atmósfera y al impacto de las prácticas de mejoramiento, las tierras cultivadas representan una emisión de NO que no puede ser desestimada.

Además de su importancia en la química atmosférica el NO cumple importantes funciones en procesos bioquímicos tanto en animales como en vegetales. Las plantas sintetizan NO principalmente a través de dos vías, una reductiva empleando nitrito y una oxidativa que involucra a la arginina. La síntesis de NO en plantas es fuertemente dependiente de estímulos ambientales y también del estado fisiológico o del desarrollo. Debido a su naturaleza gaseosa, tanto el NO generado en el suelo como el que se sintetiza en las plantas es intercambiado con la atmósfera (Fig. 1).

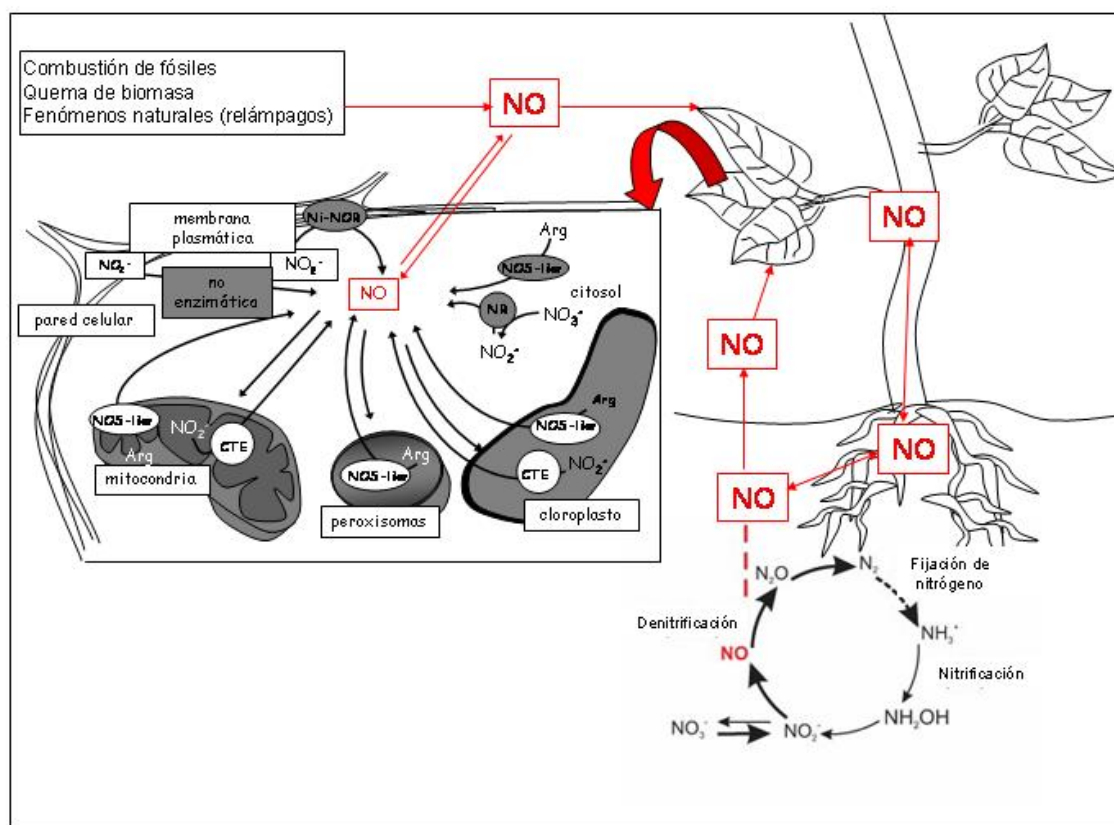


Figura 1. Ciclo del NO en la atmósfera, suelos y plantas.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar posibles fuentes de generación de NO en distintos sistemas vegetales y el efecto de modificaciones en el contenido endógeno de NO debido a la disponibilidad de nitratos como fuente de nitrógeno y a la presencia del herbicida paraquat. Dado que en gran medida el NO presente en la atmósfera proviene del intercambio o la liberación del NO sintetizado en forma endógena por diferentes cultivos, el conocimiento tanto de las fuentes de generación de NO en distintas especies, como de los factores ambientales que puedan afectarla, resulta fundamental a la hora de desarrollar estrategias destinadas a controlar las emisiones de NO por suelos cultivados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material Biológico

Semillas de sorgo (*Sorghum bicolor*) se incubaron en oscuridad, en estufa a 26°, en solución de Steinberg con o sin suplementación con KNO<sub>3</sub> (5-20 mM) o paraquat (PQ) (4 mM). Los ejes se extrajeron de las semillas a las 24 horas de incubación y se realizaron los homogeneizados correspondientes.

Semillas de soja (*Glycine max*, ADM 4800), germinaron en agua corriente y oscuridad a 26°C durante 48 h. Luego fueron transferidas a macetas con tierra donde crecieron durante 12 días con ciclos de 16 horas de luz, en una cámara en la cual recibieron 300 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> PAR (Philips 40-W day-light-fluorescent light), a temperatura 26-28°C.

El aislamiento de cloroplastos se realizó a partir de hojas de plantas de soja de 10 días de desarrollo, empleando centrifugación diferencial en gradientes de Percoll (Jasid *et al.*, 2006).

### **Detección de óxido nítrico (NO) por resonancia paramagnética electrónica (EPR)**

Los tejidos vegetales fueron homogenizados en solución de *spin trap* N-metil-D-glucamina ditiocarbamato de sodio (MGD) (10 mM MGD; 1 mM FeSO<sub>4</sub>) y transferidos a una pipeta Pasteur para las medidas de EPR. Los espectros de EPR fueron obtenidos a temperatura ambiente en un espectrómetro Bruker ECS 106 (Karlsruhe, Germany) con una cavidad ER 4102ST, operando a 9,75 GHz. Los parámetros de medición incluyeron 20.48 ms constante de tiempo, 3400 G centro de campo, 5.983 G amplitud de modulación, 50 kHz frecuencia de modulación y 20 mW potencia de microonda (Komarov y Lai, 1995).

### **Velocidad de generación de NO**

Ejes embrionarios de sorgo de 24 h (1 g PF/ml buffer) y hojas de soja de 10 días (200 mg/ml buffer) se homogeneizaron en buffer fosfato de potasio 100 mM (pH 7.4). Para la medición de la generación de NO dependiente de nitrito las muestras fueron suplementadas con la solución de *spin trap* (MGD-Fe) (10 mM MGD; 1 mM FeSO<sub>4</sub>), NADH 0,1 mM y nitrito de sodio 1 mM. La generación de NO dependiente de arginina (NOS-like) fue determinada suplementando los homogeneizados con CaCl<sub>2</sub> 1 mM, MgCl<sub>2</sub> 5 mM, NADPH 0,1 mM, L-arginina 1 mM y la solución de *spin trap* (10 mM MGD; 1 mM FeSO<sub>4</sub>). En los experimentos de inhibición las muestras fueron preincubadas con análogos de L-arginina. La cinética de generación de NO se evaluó por EPR a temperatura ambiente empleando los parámetros anteriormente descriptos.

## **RESULTADOS**

### **Detección de NO**

La resonancia paramagnética electrónica (EPR) es considerada una de las técnicas más poderosas para la detección e identificación de radicales libres en sistemas biológicos. En el caso particular del NO, esta metodología permite su detección inequívoca sin interferencia de otras especies. En este trabajo se utilizó MGD en presencia de Fe<sup>2+</sup>, el complejo hidrosoluble formado (Fe<sup>2+</sup>-MGD<sub>2</sub>) presenta gran afinidad por el NO y fue utilizado como atrapador de espín a fin de realizar la detección de NO a temperatura ambiente en los sistemas vegetales.

### **Producción de NO**

Se evaluó la velocidad de generación de NO por diferentes especies (sorgo y soja), analizándose la contribución de diferentes vías de síntesis. Los estudios se realizaron empleando homogeneizados de ejes embrionarios de sorgo, homogeneizados de hojas de soja y cloroplastos aislados de hojas de soja (Fig. 2). Las muestras se incubaron en presencia de los sustratos necesarios para la síntesis de NO a través de las vías propuestas para la producción endógena en plantas (Simontacchi *et al.*, 2006). Para analizar la contribución de actividades enzimáticas de óxido nítrico sintasa (NOS-like) dependiente de arginina, los preparados biológicos fueron adicionados con la solución



de *spin trap*, e incubados en presencia de NADPH y arginina durante 10 min. La señal de EPR del aducto (MGD)<sub>2</sub>-Fe<sup>2+</sup>-NO, caracterizada por un triplete isotrópico característico a  $g=2.03$  y  $a_N=12.5$  G (Fig 2, inserto), permitió la cuantificación del NO generado a través de la integración de la señal y la comparación con un estándar (TEMPOL). Se realizaron controles preincubando las muestras en presencia de inhibidores de NOS de mamíferos (nitroarginina y nitroarginina metil ester), lo cual resultó en una inhibición de la producción de NO.

La contribución de la enzima nitrato reductasa se evaluó a partir de la incubación de las muestras en presencia de NaNO<sub>2</sub> y NADH, y esta actividad resultó inhibida cuando los ensayos se realizaron en presencia de azida sódica, un inhibidor de la enzima nitrato reductasa (Yamasaki y Sakijama, 2000). En todos los casos la desnaturalización de las muestras por acción del calor condujo a una inhibición total en la síntesis de NO, indicando la dependencia con actividades enzimáticas.

Se estudió la síntesis de NO a nivel subcelular. Para ello se aislaron cloroplastos de hoja de soja y se analizó la producción de NO dependiente de la presencia de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (Fig. 2). Esta síntesis resultó parcialmente inhibida en presencia del herbicida DCMU (diuron) (Jasid *et al.*, 2006) demostrando que se encuentra asociada a la membrana tilacoidal. Los cloroplastos aislados presentaron además una actividad de generación de NO dependiente de arginina (Fig. 2).

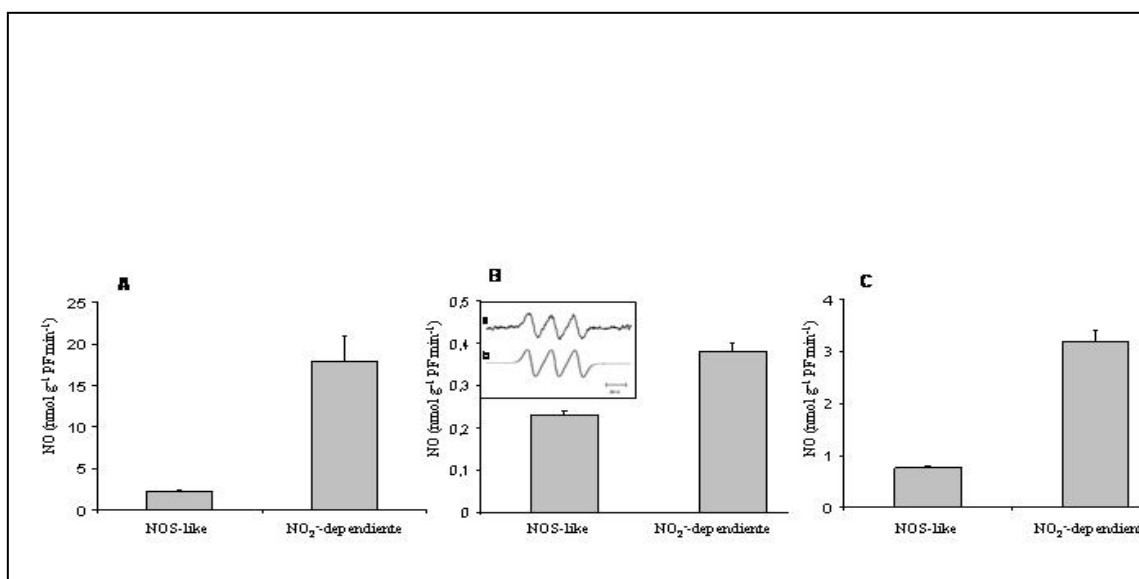


Figura 2. Generación de NO por los vegetales utilizados.

### Contenido de NO

Dado que las plantas son capaces de producir NO en forma endógena, en presencia de los sustratos adecuados, se evaluó si en los distintos tejidos esa producción *in planta* alcanza niveles de estado estacionario de NO adecuados para ser detectados por la metodología empleada. Con este fin se emplearon semillas de sorgo incubadas durante tiempos variables en condiciones adecuadas para su germinación. El contenido endógeno de NO en los ejes embrionarios de sorgo resultó dependiente del tiempo de imbibición de las semillas presentando un máximo entre las 24 y 30 h ( $2.5 \pm 0.6$  nmol/gPF) (Simontacchi *et al.*, 2004). En estas condiciones experimentales se analizó la

influencia de factores externos ambientales sobre el contenido de NO endógeno en los ejes embrionarios de sorgo. Las condiciones estudiadas fueron la suplementación con nitrato ( $\text{KNO}_3$ ) y con el herbicida paraquat (PQ), en el medio de incubación de las semillas. Los resultados obtenidos indican que el contenido de NO en ejes controles a las 24 horas se incrementó cuando las semillas germinaron en concentraciones crecientes de  $\text{NO}_3^-$ , como así también por la presencia de PQ (Fig. 3).

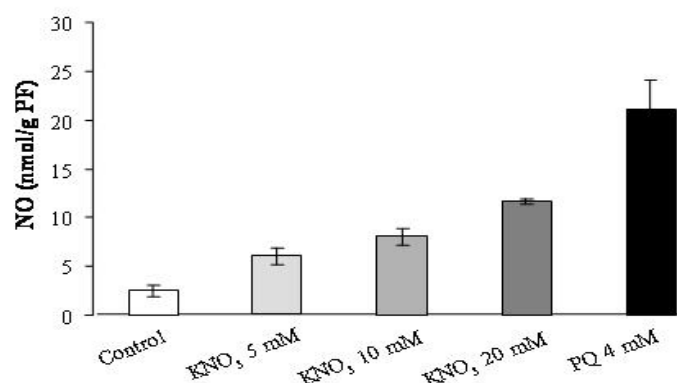


Figura 3. Generación de NO bajo la influencia de factores externos.

## DISCUSIÓN

La detección de NO en organismos vivos constituye un desafío, ya que se trata de un importante efector biológico involucrado en numerosas funciones de gran importancia, que se encuentra en concentraciones relativamente bajas y, por su naturaleza química, presenta una gran tendencia a reaccionar. Las reacciones químicas de mayor importancia en sistemas biológicos son la reacción con moléculas que contienen hierro y la reacción con anión superóxido ( $\text{O}_2^-$ ). En el caso particular de las plantas el estudio de la síntesis de NO constituye un aspecto importante ya que existe un intercambio activo entre el NO producido por las plantas y el ambiente que las rodea.

El empleo de EPR con *spin trapping* permitió evaluar tanto la velocidad de generación de NO en condiciones de máxima disponibilidad de sustratos como el nivel de NO en estado estacionario en diferentes especies vegetales.

La integración de las señales de EPR permitió calcular las concentraciones de NO obtenidas en cada caso, las cuales se encontraron en el rango de las estimadas por otros autores quienes informaron una producción de NO por NOS equivalente a  $1.8 \text{ nmol g}^{-1} \text{ PF h}^{-1}$  en hojas de tabaco infectadas por bacterias y una producción de NO dependiente de la enzima NR *in vivo* entre  $2\text{-}200 \text{ nmol g}^{-1} \text{ PF h}^{-1}$  (Rockel *et al.*, 2002).

Los datos presentados en este trabajo demostraron que en hojas de soja el NO puede ser producido tanto como un producto de la asimilación de nitrógeno, implicando un

camino dependiente de nitrito que podría involucrar la actividad de la enzima NR y el transporte de electrones en los cloroplastos, como también a través de un camino dependiente de arginina, que involucra una posible actividad NOS-like. Por otra parte, la ausencia de la señal de EPR observada en los homogeneizados previa inactivación de las actividades enzimáticas por calor, confirma la ausencia de una producción de NO no enzimática (por ejemplo mediante la reducción de nitrito en presencia de ascorbato) a pH fisiológico bajo las condiciones experimentales desarrolladas en este estudio.

Durante la germinación los ejes embrionarios de sorgo son capaces de sintetizar NO por vías dependientes de nitrito y de arginina. En ejes embrionarios de sorgo los resultados permiten evidenciar que el NO es un metabolito endógeno producido durante la germinación de las semillas, siendo su concentración en los ejes embrionarios dependiente del tiempo de imbibición de las mismas, de una mayor disponibilidad de nitrato y de la presencia del herbicida paraquat.

Los resultados sugieren que cambios en el ciclo del nitrógeno (por ejemplo por fertilización) y el empleo inadecuado de herbicidas pueden incrementar las emisiones de NO a la atmósfera en tierras cultivadas con un consecuente impacto ambiental. Por lo tanto el conocimiento de las fuentes de generación de NO en plantas y los factores ambientales que puedan afectarla, es fundamental a la hora de desarrollar estrategias destinadas a mitigar las emisiones de NO por cultivos de interés agropecuario.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo fue financiado por subsidios de la Universidad de Buenos Aires y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT).

#### **BIBLIOGRAFÍA**

- ARAMENDIA, PF; R FERNANDEZ PRINI Y G GORDILLO. 1996. ¿Buenos Aires en Buenos Aires? *Ciencia Hoy* (<http://www.cienciahoy.org.ar/hoy31/BuenosAires01.htm>)
- DAVIDSON, E.A. Y KINGERLEE, W. 1997. A global inventory of nitric oxide emissions from soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 48:37–50.
- COLLIVER, B.B. AND STEPHENSON, T. 2000. Production of nitrogen oxide and dinitrogen oxide by autotrophic nitrifiers. *Biotechnol Adv* 18:219–32.
- CONRAD, R. 1995. Soil microbial processes involved in production and consumption of atmospheric trace gases. *Adv Microb Ecol* 14:207–50
- FANG, S. AND MU, Y. 2006. Air/surface exchange of nitric oxide between two typical vegetable lands and the atmosphere in the Yangtze Delta, China. *Atmospheric Environ* 40:6329–6337.
- JASID, S.; SIMONTACCHI, M.; BÁRTOLI, C.G. AND PUNTARULO, S. 2006. Chloroplasts as a nitric oxide cellular source. Effect of reactive nitrogen species on chloroplastic lipids and proteins. *Plant Physiol* 142: 1246-1255.
- KOMAROV, A.M. AND LAI, C.S. 1995. Detection of nitric oxide production in mice by spin-trapping electron paramagnetic resonance spectroscopy. *Biochim Biophys Acta* 1272: 29-36.
- PANG, X.; MUB, Y.; LEE, X.; FANG, S.; YUAN, J. AND HUANG, D. 2009. Nitric oxides and nitrous oxide fluxes from typical vegetables cropland in China: Effects of canopy, soil properties and field management. *Atmospheric Environ* 43: 2571–2578.

- ROCKEL, P; STRUBE, F.; ROCKEL, A.; WILDT, J. AND KAISER, W.M. 2002. Regulation of nitric oxide (NO) production by plant nitrate reductase *in vivo* and *in vitro*. *J Exp Bot* 53:103-110.
- SIMONTACCHI, M.; JASID, S. AND PUNTARULO, S. 2004. Nitric oxide generation during early germination of Sorghum seeds. *Plant Sci* 167(4):839-847.
- SIMONTACCHI, M; JASID, S. AND PUNTARULO, S. 2007. Nitric Oxide in Plant Growth, Development and Stress Physiology. Book Series: Plant Cell Monographs, L Lamattina y JC Polacco eds. Springer, Vol 6.
- YAMASAKI, H. and SAKIJAMA. 2000. Nitrite-dependent nitric oxide production pathway: implications for involvement of active nitrogen species in photoinhibition *in vivo*. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 355:1477-1488.

# LA BIODIVERSIDAD DE PECES DEL RÍO DE LA PLATA Y SU RELACIÓN CON LOS CAMBIOS AMBIENTALES EN LOS ÚLTIMOS 40 AÑOS.

*Biodiversity of fish in the Río de la Plata and its relation to environmental changes in the last 40 years.*

Alejandra V. Volpedo<sup>\*1,3</sup>; Andrea D. Tombari<sup>2</sup> y Alicia Fernández Cirelli<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA), Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires, Av. Chorroarín 280, CP1427 Buenos Aires, Argentina. <sup>2</sup>Depto de Biodiversidad y Biología Experimental (FCEN-UBA). <sup>3</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

\*avolpedo@fvet.uba.ar

## RESUMEN

El Río de la Plata es uno de los ambientes fluvio-marítimos más estudiados del mundo en sus características fisicoquímicas, geomorfológicas, climáticas y bioecológicas. En las últimas décadas se han observado cambios en las precipitaciones, la temperatura y la calidad del agua, y debido a que la biota es un componente ecosistémico estrechamente relacionado con los factores abióticos, los cambios en las condiciones ambientales podrían reflejarse en la biota.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar los cambios en la biodiversidad de peces en las últimas cuatro décadas en el Río de la Plata.

Los resultados evidencian que la composición de la ictiofauna del Río de la Plata desde 1960 al presente ha variado, principalmente en la cantidad de especies dulceacuícolas. Esta variación se evidencia significativamente a partir de los años 80; en la década del 60 había 101 especies de teleósteos dulceacuícolas y en los últimos 15 años esta cantidad se incrementó en más del 50%. En relación a los peces marinos la cantidad de especies presentes en la década del 60 se mantuvo casi constante. Las nuevas especies de peces dulceacuícolas registradas en los últimos 15 años en el Río de la Plata se encontraron presentes en aguas templado-calidas de la región norte de Argentina (Ríos Bermejo, Paraguay, Paraná, o en los Esteros del Iberá) y en los países limítrofes como Paraguay y Brasil. Este desplazamiento hacia el sur de estas especies oriundas de la región tropical y subtropical, probablemente se deba a que las condiciones ambientales del Río de la Plata les fueran favorables, por lo que se han establecido en este cuerpo de agua a partir de las dos últimas décadas. Considerando las tendencias climáticas e hidrológicas de los escenarios de cambio climático para el Río de la Plata es de esperar que siga aumentando el número de peces dulceacuícolas de las cuencas altas extendiendo su distribución hacia el sur y que se establezcan nuevas relaciones ecológicas y tróficas entre las especies debido a cambios en las comunidades.

**Palabras clave:** biodiversidad de peces, Río de la Plata, cambios ambientales

## SUMMARY

Río de la Plata is the maritime fluvial environment more thoroughly studied in the world in regards to its physicochemical, geomorphologic, climatic and bioecological features. However, in recent decades, this environment has changed in different aspects as

precipitation, temperature and water quality. In this context, the aim of the present paper is to analyze the changes in fish diversity occurred in the last four decades at Río de la Plata.

The results obtained show that fish composition at Río de la Plata from 1960 to present time has varied, mainly in relation to richness of freshwater species. This variation is evident significantly since the 80's. In the 60's, there were 101 freshwater fish species and 15 years this number has increased by more than 50 %. In relation to marine fish species, the number found in the 60's remained nearly constant. The new species of fish found in the last 15 years in Río de la Plata were also present in warmer waters of Northern Argentina (Bermejo, Paraguay, Paraná Rivers) in Iberá wetlands and in border countries such as Paraguay and Brazil. This displacement of tropical and subtropical fish species possible since the environmental conditions of Río de la Plata are adequate. Taking into account the possible Río de la Plata climatic change scenarios, it may be expected that the number of freshwater fish of high basins towards the South, establishing new ecological and trophic relations among species due to changes in their communities.

**Key words:** fish biodiversity, Río de la Plata, environmental changes

## INTRODUCCIÓN

El Río de la Plata es uno de los ambientes fluvio-marítimos más estudiado del mundo en sus características fisicoquímicas, geomorfológicas, climáticas y bioecológicas (Nagy *et al.*, 1998, Vizziano *et al.*, 2002; Acha *et al.*, 2003; Penchaszadeh, 2005; Barros *et al.*, 2005; Volpedo y Brazeiro, 2005). Este ambiente depende por un lado de la dinámica entre el flujo del agua proveniente de la Cuenca del Plata (la cuarta más grande del mundo), y por otro de los vientos, las mareas y las corrientes del Atlántico Sudoccidental. El flujo promedio de agua en el sistema es de 24.000 m<sup>3</sup>/s suficiente para mantener una parte considerable del sistema con agua dulce permanentemente. Sin embargo, este flujo es muy variable; éste parece aumentar aguas abajo de los ríos más grandes (Paraná y Uruguay) desde los años 70 pero sufre enormes variaciones, especialmente durante los años del 'ENOS' (El Niño Oscilación del Sur) cuando puede alcanzar más de 60.000 m<sup>3</sup>/s. La dificultad para predecir las condiciones en el sistema se complica aún más con la variabilidad en las zonas costeras y con los escenarios de cambio climático previstos para este ambiente. En las últimas décadas se han observado cambios en sus aspectos ambientales como aumento de las precipitaciones, de la temperatura, del nivel del mar, modificaciones en la calidad del agua, entre otros (Barros *et al.*, 2005).

En el aspecto bioecológico, el Río de la Plata posee diversos ambientes relacionados con las diferentes condiciones ambientales, especialmente con la salinidad, producto de la interrelación entre las aguas marinas y dulces. Estos ambientes han propiciado la presencia de diversidad íctica de especies marinas, eurihalinas y dulceacuícolas (Menni, 2004; Jaureguizar *et al.*, 2006; Jaureguizar y Milessi, 2008).

En este contexto y considerando que la diversidad de peces está estrechamente asociada al ambiente, se analizó la presencia de nuevas especies ícticas, en relación a las modificaciones ambientales, en las últimas cuatro décadas en el Río de la Plata.

## MATERIALES y MÉTODOS

Se estudió la presencia de especies de peces desde los años sesenta al presente, en base a la información publicada (Ringuelet *et al.*, 1967; Almirón *et al.*, 2000; López *et al.*, 2002; 2003; Menni, 2004 y Liotta, 2006) e información propia en el Río de la Plata.

Se analizó la presencia/ausencia de las especies en cada década, elaborándose una matriz binaria. Debido a que en este tipo de matriz se reúne la información relacionada con la presencia o ausencia de especies nativas, no se detallan los métodos de captura utilizados por los autores, ni el esfuerzo de captura.

Las tendencias climáticas e hidrológicas en el Río de la Plata para los escenarios futuros se basa en las propuestas de Barros *et al.*, (2005).

## RESULTADOS y DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que la riqueza de especies ícticas del Río de la Plata desde 1960 al presente han aumentado debido, principalmente, a la cantidad de especies dulceacuícolas (Tabla 1).

Tabla 1. Variación del número total de especies ícticas dulceacuícolas y marinas en cada década.

	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009
<b>Peces Marinos</b>	16	15	18	13	12
<b>Peces Dulceacuícolas</b>	101	115	114	135	159
<b>Total de Especies</b>	117	130	132	148	174

Esta variación se evidencia significativamente a partir de los años '90; en la década del '60 había 101 especies de teleósteos dulceacuícolas y en los últimos 15 años esta cantidad se incrementó en más del 50%. En relación a los peces marinos la cantidad de especies presentes en la década del 60 se mantuvo relativamente constante. De las especies presentes en el Río de la Plata en la actualidad, 48 son especies permanentes y 22 visitantes (Nion, 1998).

Las nuevas especies de peces dulceacuícolas registradas en los últimos 15 años en el Río de la Plata se encontraban presentes en aguas templado-cálidas de la región norte de Argentina (Ríos Bermejo, Paraguay, Paraná, en el humedal de Iberá) y en los países limítrofes como Paraguay y Brasil. Como ejemplo de las nuevas especies de peces dulceacuícolas registradas en los últimos 15 años en el Río de la Plata se pueden mencionar a:

- *Abramites hypselonotus* típica especie del Pantanal (Brasil) y del Noreste Argentino (López *et al.*, 2005), fue encontrada en el Río de la Plata por primera vez en 1993 por Braga.
- *Gymnogeophagus gymnogenys* que pertenece a la región del sur de Brasil (Ribeiro y Köhler, 2007), apareció en el Río de la Plata en 1999 (Nion, 1998).
- *Cyphocharax spilotus* que es de los Esteros del Iberá y de Brasil, (Casciotta *et al.*, 2005), fue encontrada por Nion (1998) en el Río de la Plata.

El desplazamiento de las especies oriundas de la región tropical y subtropical hacia el sur, ha utilizado como vía de movilización los grandes ríos de la Cuenca del Plata

(Sistema Paraguay-Paraná y el Río Uruguay) que son vías de conexión entre las regiones de latitudes bajas con las de latitudes más altas. Este desplazamiento de fauna, por estos corredores biológicos, es histórico, por ello en la bibliografía aparece ocasionalmente la presencia de especies del Pantanal o de la Amazonia (Gómez, 2008; Gómez *et al.*, 2008). Sin embargo, a partir de las dos últimas décadas, estas apariciones ocasionales han incrementado su frecuencia y en algunos casos las especies se han registrado de manera frecuente, esto puede deberse a que las condiciones ambientales del Río de la Plata les son favorables para establecerse en este cuerpo de agua.

Considerando las tendencias climáticas e hidrológicas de los escenarios de cambio climático para el Río de la Plata propuestas por Barros *et al.* (2005), es de esperar que siga aumentando el número de peces dulceacuícolas de las cuencas altas, extendiendo su distribución hacia el sur, y que se establezcan nuevas relaciones ecológicas y tróficas entre las especies debido a cambios en las comunidades.

Los grupos taxonómicos de Characiformes y Siluriformes son los peces óseos que más especies nuevas presentaron en las últimas décadas en el Río de la Plata (Tabla 2). Esto se debe no solo a la alta riqueza específica de estos grupos en Sudamérica, sino también a los esfuerzos que se han realizado en el campo de la ictiología en la región, pudiéndose acceder a áreas remotas para recolectar ejemplares.

**Tabla 2.** Variación temporal del número de especies de cada orden.

<b>Ordenes de Peces</b>	<b>1960-1969</b>	<b>1970-1979</b>	<b>1980-1989</b>	<b>1990-1999</b>	<b>2000-2009</b>
Clupeiformes	7	6	7	4	7
Cypriniformes	1	2	1	1	2
Characiformes	38	42	40	59	65
Siluriformes	49	58	55	58	67
Gymnotiformes	4	4	5	8	6
Mugiliformes	4	0	0	0	0
Atheriniformes	0	0	2	2	4
Cyprinodontiformes	6	6	8	4	8
Synbranchiformes	1	1	1	1	1
Perciformes	5	9	11	9	12
Pleuronectiformes	2	2	2	2	2
<b>Total</b>	<b>117</b>	<b>130</b>	<b>132</b>	<b>148</b>	<b>174</b>

El Río de la Plata recibe no sólo las aguas de las cuencas altas de los ríos Paraná-Paraguay y Uruguay si no que también reúne parte de la fauna que habita en estos cuerpos de agua. La presencia de forma permanente o muy frecuente de las especies procedentes de las cuencas altas, podría generar cambios ecológicos importantes en las comunidades de peces del Río de la Plata. Estos cambios no sólo influenciarían modificaciones a nivel de biodiversidad sino también en las pesquerías, ya que las tramas tróficas a las que pertenecen las especies de importancia comercial están estrechamente articuladas con las de estas nuevas especies, por lo que muchas poblaciones podrían modificar sus parámetros poblacionales en respuestas a estos nuevos cambios. Este cambio en la dinámica poblacional de las especies comerciales podría conllevar a la disminución de larvas y reclutas, por interacciones tróficas; a las modificaciones en los hábitats costeros y al aumento de la mortalidad. Es por eso que



estudiar los efectos de los cambios globales sobre las pesquerías, en los nuevos escenarios de cambio climático, para el Río de la Plata es una prioridad de la región.

### **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de Buenos Aires (UBACyT X 504) y al CONICET por el apoyo financiero.

### **BIBLIOGRAFIA**

- ACHA, E.M.; MIANZAN, H.W.; IRIBARNE, O.; GAGLIARDINI, D.A.; LASTA, C. y DALEO, P., 2003. The role of the Río de la Plata bottom salinity front in accumulating debris. *Mar. Poll. Bull.* 46 (2):197-202.
- ALMIRÓN, A.E.; GARCIA, M.L.; MENNI, R.C.; PROTOGINO, L. y SOLARI, L., 2000. Fish ecology of a seasonal lowland stream in temperate South America. *Mar. Fresh. Res.* 51 (3):265-274.
- BARROS, A.; MENEDEZ, A. y NAGY, G., 2005. El Cambio climático en el Río de la Plata. Proyecto "assessments of Impacts and Adaptations to climate change (START-TWAS-UNEP). 200 pp
- CASCIOTTA, J.R.; ALMIRÓN A.E. y BECHARA, J., 2005. Peces del Iberá. Hábitat y diversidad. UNDP, Fundación Ecos, UNLP, UNNE, La Plata
- GÓMEZ, S.E.; GONZALEZ NAYA, M.J. y ARRIBAS, L.P., 2008. Cambio ambiental en América Austral: pasado, presente y perspectivas futuras. En: "Efecto de los cambios globales sobre biodiversidad". Red 406RT0285 "Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica", Programa CYTED. Eds. L. Fernández Reyes y A. V. Volpedo. CYTED - Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo: Buenos Aires: 47-58.
- GÓMEZ, S.E., 2008. Notas sobre el cambio ambiental en ictiología. *Biología Acuática* 24: 1-6.
- JAUREGUIZAR, A.; MENNI, R.C.; LASTA, C. y GUERRERO, R., 2006. Fish assemblages of the Northern Argentine Coastal System: spatial patterns and their temporal variations. *Fish. Oceanogr.* 15: 326-344
- JAUREGUIZAR, A.J. y MILESSI A.C., 2008. Assessing the sources of the fishing down marine food web process in the Argentinean-Uruguayan Common Fishing Zone. *Sci. Mar.*, 72 (1):doi:10.3989/scimar.2008.72n125
- LIOTTA J., 2006. Distribución geográfica de los peces de aguas continentales de la República Argentina. *ProBiota - Serie Documentos*, 3, 701 pp. La Plata, Argentina.
- LÓPEZ, H.; MENNI, R.C. y MIQUELARENA A., 2003. Lista Crítica comentada de los peces del Río de la Plata. Capítulo II. Informe FREPLATA1-73 pp.
- LÓPEZ, H.L.; MORGAN, C.C. y MONTENEGRO, M.J., 2002. Ichthyological Ecoregions of Argentina. *ProBiota, Serie Documentos* 1, 70 pp.
- LÓPEZ, H.; A.M. MIQUELARENA y PONTE GÓMEZ, J., 2005. Biodiversidad y Distribución de la Ictiofauna Mesopotámica. Temas de la Biodiversidad del Litoral fluvial argentino II INSUGEO, Miscelánea, 14: 311 – 354
- MENNI, R.C., 2004. Peces y ambientes en la Argentina continental. Monografías del Museo Argentino de Ciencias Naturales 5, Buenos Aires, 316 pp.
- NAGY, G.J.; MARTINEZ, C.M.; CAFFERA, R.M.; PEDROSA, G.; FORBES, E.A.; PERDOMO, A.C. y LABORD, J.L., 1998. Marco hidrológico y climático del Río de la Plata. En: P.G. Wells & G.R. Daborn. Eds. El Río de la Plata. Una Revisión

- Ambiental. Un informe de Antecedentes del Proyecto EcoPlata. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canadá. 17-72 pp
- Nion, H., 1998. Peces del Río de la Plata y algunos aspectos de su ecología. Capítulo 6, pp. 169-190. En: Wells, P.G. y G.R. Daborn (Eds.), El Río de la Plata. Una revisión ambiental. University of Dalhousie, Canadá.
- PENCHASZADEH, P.E., (ed). 2005. Invasores. Invertebrados exóticos en el Río de la Plata y Región Marina Aledaña. EUDEBA, Buenos Aires.
- RIBEIRO, F.M. y KÖHLER A., 2007. Ichthyofauna of Pardinho River, in Rio Grande do Sul State, Brazil. Caderno de Pesquisa série Biologia. Universidade de Santa Cruz Sul 19 (2): 37-45
- RINGUELET, R.A.; ARÁMBURU, R.H. y DE ARÁMBURU A.A., 1967. Los peces argentinos de agua dulce. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, 602 pp.
- VIZZIANO, D.; PUIG, P.; MESONES, C. y NAGY, G.J., 2002. El Río de la Plata. Investigación para la gestión del Ambiente, los recursos pesqueros y las pesquerías en el frente salino. Porraza EcoPlata, Motevideo Uruguay, 311.
- VOLPEDO, A.V. y BRAZEIRO, A., (Coords). 2005. Estrategia Argentina de Biodiversidad para el Río de la Plata y su Frente Marítimo, Proyecto FREPLATA. PNUD-GEF, Buenos Aires, 15 de septiembre. [http:// www.freplata.org](http://www.freplata.org)

# GENOTOXICIDAD *IN VIVO* Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL: ¿CONOCEMOS LO QUE USAMOS?

*In vivo genotoxicity and environmental contamination: Do we know what we are using?*

Alicia Leonor Basso

Cátedra de Genética, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av.  
San Martín 4453. (1417) C.A.B.A., Rca. Argentina  
\* abasso@agro.uba.ar

## RESUMEN

El clorpirifós y la cipermetrina son insecticidas de amplio espectro utilizados en la agricultura de manera extensiva, como parte del paquete tecnológico. A nivel mundial, las preocupaciones acerca de la relativa seguridad para el ambiente son cada vez mayores. El presente trabajo reporta la utilización de esta mezcla de insecticidas, prohibida por la OMS y recientemente por la Res.456/09-MS, Rca. Argentina, y los efectos encontrados sobre la Mosca Sudamericana de la fruta *Anastrepha fraterculus*, plaga cuarentenaria de la citricultura argentina. Se recolectaron frutos de guayabos linderos a un lote de maíz. El maíz había recibido cuatro tratamientos con clorpirifós 0,6% + cipermetrina 0,0625%. Los frutos se mantuvieron aislados en frascos bajo condiciones controladas (23°C y 60%HR) y se revisaron diariamente para diagnosticar la presencia del insecto durante su desarrollo. Los resultados evidenciaron absoluta letalidad en los materiales, encontrándose gran número de larvas necrosadas. Sobre un total de 226 pupas recuperadas, sólo el 8,85% llegó a la ecdisis. Los adultos emergidos expresaron mutaciones para caracteres morfológicos (i.e. ovipositor, alas y color de ojos) y de historia de vida. Éstas afectaron la cópula, la fecundidad, el comportamiento de ovipuesta (bajo número de huevos) y el tiempo de desarrollo (amplio intervalo imago-primera ovipuesta). La segunda generación de insectos no dejó descendencia. La genotoxicidad (capacidad de daño) de la mezcla insecticida excede el cultivo blanco y es documentada en detalle. ¿Cómo detenemos la negligencia que arriesga la sustentabilidad de los recursos naturales del planeta y de la vida, la salud y el bienestar humano?

**Palabras clave:** contaminación ambiental, genotoxicidad, educación ambiental, agroquímicos, sanidad vegetal, control de plagas.

## SUMMARY

Both Chlorpyrifos and Cypermetrine are broad-spectrum insecticides widely use in agriculture, as a part of the technological burst. The relative environmental security is a cause of continuous and increasing worldwide concern. The present work reports on the use of this insecticide mixture, which was forbidden by the World Health Organization and recently in Argentina through Res.456/09-MS, and the effects found on the South American fruit fly *Anastrepha fraterculus*, a quarantine pest for Argentinean Citrus production. During a sampling we collected guava fruits proximate to a maize lot. Four treatments with chlorpyrifos 0,6% + cypermetrine 0,0625% were applied to maize plants. The collected fruits were isolated in glass jars and kept under environmental

controlled conditions (23°C and 60%RH) for several days. They were checked daily in order to detect the presence of the insect during its development. Our results show lethality in the materials, a great number of necrotized larvae. From a total of 226 pupae recovered, only 8,85% completed ecdysis. Adults expressed mutations for morphological characters (i.e. ovipositor, wings and eye colour) and for life history traits. These affected mating, fecundity, the ovipositional behaviour (low number of eggs) and developmental time (wide interval between imago-first oviposition). The second generation of insects, emerged under laboratory conditions, did not leave any offspring. Genotoxicity (ability of damage) of the insecticide mixture exceeds de target crop and is documented in this report. How we stop the negligence which is risking the natural resources of the planet as well as the human health and welfare?

**Key words:** environmental contamination, genotoxicity, environmental education, agrochemicals, plant health, pest control.

## INTRODUCCIÓN

La genética toxicológica tiene por objeto estudiar las mutaciones inducidas por agentes químicos, físicos y biológicos, identificar estos agentes y analizar sus interacciones y mecanismos de acción. Algo destacable es que hace foco en niveles de exposición no tóxicos, los cuales no causan efectos inmediatos fácilmente identificables, pero dañan el ADN (Castro *et al.*, 2004).

Los agroquímicos genotóxicos son agentes que interaccionan con el ADN, causando daño al material genético a dosis sub-tóxicas (Cuenca y Ramírez, 2004). La genotoxicidad es la capacidad de generar daño en el ADN. El daño se traduce en mutaciones deletéreas que pueden afectar oncogenes o sistemas de reparación del ADN, siendo entonces cancerígenas (Ramírez y Cuenca, 2002). La mayoría de las mutaciones son deletéreas, pero la evolución es posible porque algunas de ellas no lo son. Las mutaciones pueden transmitirse a la descendencia con alto riesgo de que los individuos que las heredan padezcan cáncer, desarrollen inestabilidad genómica, envejecimiento celular, necrosis (Cuenca y Ramírez, 2004).

El clorpirifós y la cipermetrina son insecticidas de amplio espectro utilizados en la agricultura de manera extensiva, como parte del paquete tecnológico. A nivel mundial, las preocupaciones acerca de la relativa seguridad para el ambiente son cada vez mayores.

El propósito original de este trabajo fue el estudio de una población natural de la mosca Sudamericana de la fruta *Anastrepha fraterculus*, para análisis de variabilidad genética y aislamiento de mutantes. A los efectos de estudiar la variabilidad genética natural, es esencial realizar los muestreos sobre materiales que no hayan sido expuestos a agentes mutagénicos como compuestos químicos. Debido a que *A. fraterculus* tiene preferencia por los frutos de guayabo *Psidium guajava* (Mirtaceae), realizamos un muestreo sobre arbustos de guayaba ubicados en la Facultad de Agronomía de la UBA. La elección estuvo basada en el hecho de que estos arbustos no son fumigados debido a que no son de importancia comercial en nuestro país. Sin embargo, ese supuesto fue alterado accidentalmente y, en consecuencia, el objetivo original se transformó en el presente trabajo.

Esta presentación reporta los efectos de una mezcla de insecticidas, prohibida por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y por la Organización Mundial

para la Salud (OMS, 2003), sobre la Mosca Sudamericana de la fruta *Anastrepha fraterculus*, plaga cuarentenaria de la citricultura argentina.

**Acerca del Clorpirifós.** Esta sustancia causa daño genético *in vivo* e *in vitro* ya que mostró resultados positivos al evaluarla con diferentes sistemas biomarcadores (i.e. ensayos de aberraciones cromosómicas, de micronúcleos, de mutagénesis e incluso con el ensayo cometa). Es un insecticida organofosforado, cancerígeno, de exposición prolongada mortal. Bajas concentraciones interfieren en el desarrollo del sistema nervioso de los mamíferos y producen bajo peso y cabeza de tamaño reducido en los recién nacidos. La EPA (U.S. Environmental Protection Agency) prohibió su uso en productos domésticos debido al alto riesgo para la salud de los niños y canceló todos los registros de productos que contengan clorpirifós.

Los fosforados son insecticidas que inhiben la acetilcolinesterasa, enzima que degrada el neurotransmisor acetilcolina y es indispensable para el desarrollo normal de la función nerviosa (Stenersen, 2004). Si se respetan las recomendaciones de uso, los riesgos ambientales y sanitarios asociados al uso de estos insecticidas son mínimos. Sin embargo, los fosforados como el clorpirifós han sido muy cuestionados a causa de su alta toxicidad en los mamíferos. Por este motivo, se siguieron buscando alternativas más seguras (Alzogaray, 2005).

**Acerca de la Cipermetrina.** Es un insecticida piretroide, fotoestable con una vida media al aire libre de alrededor de un mes. Es no volátil, de “baja” toxicidad para el ser humano, no mutágeno, no cancerígeno, no teratógeno y no se acumula en tejidos grasos. Es altamente tóxico para abejas y muy tóxico para peces. Los piretroides son análogos sintéticos de las piretrinas producidas por el crisantemo *Chrysanthemum cinerariifolium*. Es interesante subrayar que los piretroides se convirtieron en la alternativa que se buscaba para reemplazar a los carbamatos y a los fosforados. Su aplicación requiere entrenamiento profesional y constituye una medida de control con muy bajo riesgo para el ambiente y las personas (Alzogaray, 2005). El primer síntoma visible de intoxicación en los insectos tratados con piretroides es un aumento de la actividad locomotora (Benoit *et al.*, 1985; Alzogaray *et al.*, 1997), propiedad responsable del fenómeno de expurgue que hace que los insectos abandonen sus refugios. La aplicación simultánea de una sustancia expurgante y otra tóxica, aumenta la exposición de los insectos a esta última (en el caso de los piretroides, la misma sustancia cumple las dos funciones) (Alzogaray, 2005).

## **MATERIALES y MÉTODOS**

El muestreo de frutos se realizó el día 15 de abril de 2008. Se recolectaron 55 frutos de guayabos infestados con larvas tefritidas (*Anastrepha fraterculus*). Lindero a los guayabos, ubicado a una distancia de aproximadamente 10 metros, se había sembrado un ensayo de maíz en una parcela de 10m x 3 m. El maíz había recibido cuatro tratamientos con la mezcla clorpirifós 0,6% + cipermetrina 0,0625% en las siguientes fechas: 23 de enero, 13 de marzo, 27 de marzo y 10 de abril de 2008.

Los frutos fueron trasladados a nuestro laboratorio donde se mantuvieron aislados en frascos de vidrio bajo condiciones controladas (23°C y 60%HR). Los mismos se revisaron diariamente para diagnosticar la presencia del insecto durante su desarrollo. A los efectos de realizar comparaciones se utilizó una línea de laboratorio de *A. fraterculus* como testigo.

## RESULTADOS

La genotoxicidad de la mezcla insecticida excedió el cultivo blanco y es documentada en detalle: la misma pudo ser advertida cuando comenzó la emergencia de los insectos adultos que abandonaban el pupario. Los árboles frutales no fueron fumigados directamente pero recibieron el insecticida accidentalmente de modo indirecto. La observación minuciosa y el análisis de los materiales puso en evidencia la letalidad que se expresó durante todos los estadios del desarrollo tanto inmaduros como maduros de *A. fraterculus*. Se observaron efectos letales en estadios larvales, encontrando 43 larvas necrosadas. La Figura 1 muestra una larva salvaje (1A) y una larva necrosada (1B). Durante la metamorfosis, los efectos letales en las pupas afectaron la cutícula y el tamaño. En la Figura 1 se muestra, además, una pupa salvaje (1C) y una pupa con alteraciones en la cutícula (1D). Sobre un total de 226 pupas recuperadas, sólo el 8,85% llegó a la ecdisis. El 9 de mayo se produjo la ecdisis y emergieron 20 adultos (Figura 2), todos portadores de mutaciones para caracteres morfológicos (i.e. ovipositor, alas y color de ojos) y/o fisiológicos de historia de vida. Éstas afectaron la cópula, la fecundidad, el comportamiento de ovipuesta (bajo número de huevos) el tiempo de desarrollo (amplio intervalo imago-primera ovipuesta) (Figura 3) y viabilidad larva-adulto.

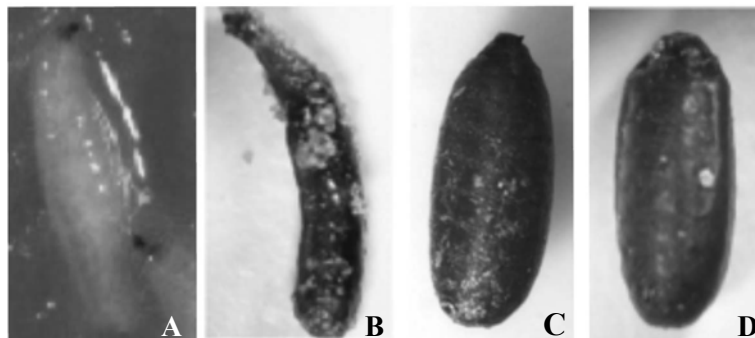


Figura 1. Mutaciones para caracteres morfológicos- A) Larva normal; B) larva necrosada; C) Pupa normal; D) Pupa con alteraciones en la cutícula y en la forma.

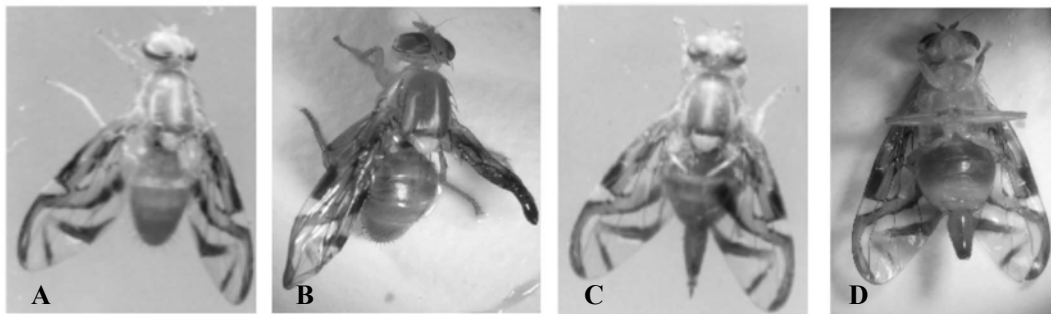


Figura 2. Mutaciones para caracteres morfológicos- A) Macho fenotipo salvaje; B) Macho mutante para color de ojos, alas chamuscadas y abdomen; C) Hembra fenotipo salvaje; D) Hembra mutante para color de ojos, morfología, abdomen y ovipositor.

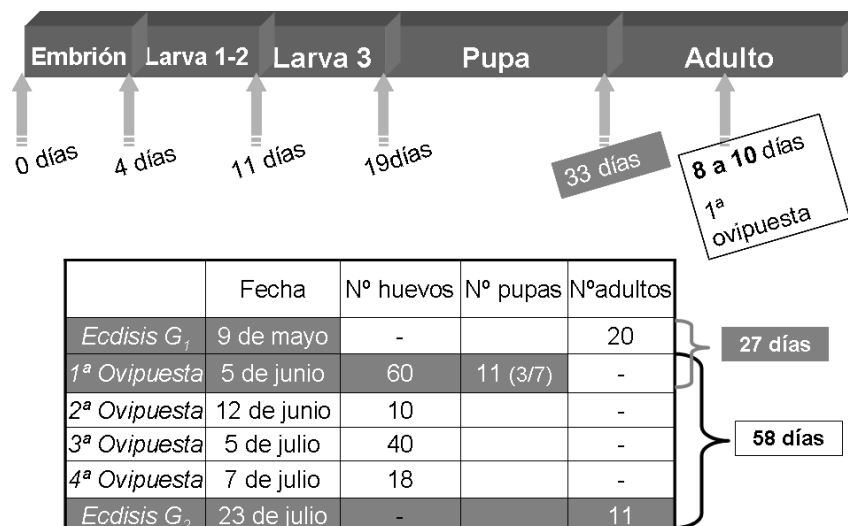


Figura 3. Efectos de la mezcla insecticida sobre caracteres fisiológicos.

La letalidad de la dosis se expresó en todos los estadios del desarrollo. Los efectos sobre caracteres de historia de vida (Figura 3) ponen en evidencia las alteraciones fisiológicas reproductivas con respecto a moscas de una línea de laboratorio de *A. fraterculus*, usada como testigo (Figura 3, barra de desarrollo). El tiempo desde ecdisis (9 de mayo) a la primera ovipuesta (5 de junio) fue de 27 días, lo que representa un retraso de 20 días con respecto al tiempo esperado de entre 8 y 10 días (Figura 3, barra de desarrollo). La viabilidad huevo a pupa medida fue muy baja, sólo alcanzó el 18,3%. Los individuos que llegaron a pupa, emergieron el 23 de julio, o sea a los 58 días (G2) desde la ovipuesta, lo que representa un retraso de 25 días. La segunda generación de insectos no dejó descendencia. En las otras tres ovipuestas los huevos no eclosionaron, expresándose letalidad gamética o cigótica.

## DISCUSIÓN

Las relaciones entre las mutaciones morfológicas y las mutaciones fisiológicas presentan asociaciones múltiples (Tabla 1).

Tabla 1. Asociaciones entre mutaciones morfológicas y fisiológicas.

Mutaciones morfológicas	Mutaciones fisiológicas
Color de ojos (2 variantes)	Comportamiento de cópula
Tamaño de ovipositor (2 variantes)	fecundidad
Ovipositor vestigial	Retraso de 1ª ovipuesta
Alas chamuscadas	Tiempo de desarrollo
Necrosis larval	Viabilidad larva-adulto

Dado que en estadio de larva 3 sólo contamos 43 individuos necrosados, probablemente una alta proporción de inmaduros se perdió en estadios previos pero fueron imperceptibles debido al pequeño tamaño y al estado de putrefacción de los frutos.

Las dosis recomendadas por la OMS para ensayos de evaluación *in vitro*, son un 70% mayores que las informadas en este trabajo (Tabla 2) para controlar la sanidad del maíz, alcanzando a los frutales de modo indirecto pero ejerciendo un efecto letal sobre los insectos. Para revisiones de dosis Letal 50 de Clorpirifós y de éste combinado con Cipermetrina, consultar Betti *et al.*, (1994); Bisset *et al.*, (1998, 2001); Ramírez y Cuenca (2002); y Iannacone y Alvariano (2007).

Tabla 2. Dosis recomendadas y dosis utilizadas en este trabajo.

Plaguicida	Dosis utilizada aquí	Dosis OMS
<b>Cipermetrina</b>	0,0625 %	0,1 %
<b>Clorpirifós</b>	0,6 %	1 %

En *Blatella germanica* esta mezcla insecticida muestra mayor efecto residual (Iannacone y Alvariano, 2007).

El ser humano está expuesto a mezclas complejas de plaguicidas, por lo que habría que analizar el comportamiento de las mezclas de ambos compuestos y de cada uno combinado con otros plaguicidas usados en los cultivos, para evaluar posibles efectos antagónicos o sinérgicos que modifiquen su potencial genotóxico (Bisset *et al.*, 1998; 2001). En la vida real lo que se expone es el organismo completo a la naturaleza, donde están activos los mecanismos de tolerancia, reparación y el metabolismo xenobiótico, funcionando simultáneamente diversos órganos y hormonas que participan en la detoxificación: es imprescindible ser cauto al extrapolar los resultados que se obtienen en estudios *in vitro* para predecir lo que ocurre *in vivo* (Betti *et al.*, 1994; Ramírez, 1998).

## CONCLUSIONES

Revelamos el nivel genotóxico de una mezcla prohibida en relación a la concentración y al número de dosis aplicadas. La genotoxicidad de la mezcla insecticida excedió el cultivo blanco: 91,15% de los insectos, desarrollados dentro del fruto, murió en estadios inmaduros (huevo-larva-pupa). El corto ciclo de vida de estos insectos permitió revelar los efectos mutagénicos durante el desarrollo. Los insectos recibieron el insecticida en forma indirecta, mientras el hombre toma contacto y lo inhala en forma directa, pero los efectos se ven a largo plazo.

¿Cómo detenemos la negligencia que arriesga la sustentabilidad de los recursos naturales del planeta y de la vida, la salud y el bienestar humano?

La educación ambiental es una educación potencial de valores. Por lo tanto, la consigna es lograr el respeto de las reglas desde el conocimiento: ¿Conocemos lo que usamos?

La presentación parcial de este trabajo en las II Jornadas PIUBACC y VI Simposio de la Red CYTED y la conferencia dictada en el marco del Seminario “Agroquímicos”, Facultad de Agronomía-UBA, Septiembre de 2009 que contó con la presencia del Periodismo, contribuyeron a terminar con el uso de Clorpirifós en nuestro país. A partir



del 19 de Octubre de 2009 se prohibió el uso de Clorpirifós en la República Argentina por Resolución 456/09 del Ministerio de Salud.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALZOGARAY, R. 2005. El control químico de *Triatoma infestans* en Argentina. RETEL (Revista de toxicología en línea) N° 9. <http://www.sertox.com.ar/retel/default.htm>
- ALZOGARAY, RA; FONTÁN, A. y ZERBA, E.N. 1997. Evaluation of hyperactivity produced by pyrethroid treatment on third instar nymphs of *Triatoma infestans*. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 35: 323-333.
- BENOIT, M; BRUNAEU, P. y MEINARD, C. 1985. Comparative activity of tralomethrin and deltamethrin on Periplaneta Americana. *Pestic. Biochem. Physiol.* 26:284-291.
- BETTI, C; DAVINI, T.; GIANESSI, L.; LOPRIENO, N. y BARALE, R. 1994. Microgel electrophoresis assay (comet test) and SCE analysis in human lymphocytes from 100 normal subjects. *Mut. Res.* 343: 201-207.
- BISSET, J; RODRÍGUEZ, M.M.; DÍAZ, C. y SOCA, LA. 1998. Estudio de la resistencia en una cepa de *Culex quinquefasciatus*, procedente de Medellín, Colombia. *Rev. Cubana Med. Trop.* 50(2): 133-7.
- BISSET, J.; RODRÍGUEZ, M.M.; MOLINA, D.; DÍAZ, C. y SOCA, L.A. 2001. Esterasas elevadas como mecanismo de resistencia a insecticidas organofosforados en cepas de *Aedes aegypti*. *Rev. Cubana Med. Trop.* 53 (1):37-43.
- CASTRO, R; RAMÍREZ, V. y CUENCA, P. 2004. Micronúcleos y otras anormalidades nucleares en el epitelio oral de mujeres expuestas ocupacionalmente a plaguicidas. *Rev. Biol. Trop.* 52(3): 207-217.
- CUENCA, P y V RAMÍREZ., 2004. Mutagénesis ambiental y el uso de biomarcadores para predecir el riesgo de cáncer. *Rev. Biol. Trop.* 52(3). 585-590.
- IANNACONE, J. y ALVARIÑO, L. 2007. Integración del control químico y etológico para la supresión poblacional de *Blatella germanica* (Linnaeus) (Dictyoptera: Blatellidae) en Lima, Perú. *Parasitol. Latinoam.* 62: 7-15.
- OMS. 2003. Chlorpyrifos in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/87).
- RAMÍREZ, V. 1998. Efecto genotóxico de los plaguicidas en una población costarricense de trabajadoras bananeras. Tesis para obtener el grado de Magister Scientiae en Biología, Sistema de Estudios de Posgrado. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 107pp.
- RAMÍREZ, V. y CUENCA, P. 2002. Daño del ADN en trabajadoras bananeras expuestas a plaguicidas en Limón, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 50(2): 507-518.
- STENERSEN, J. 2004. Chemical pesticides: mode of action and Toxicology. Publisher, New York. 296pp.



# Impactos sobre los servicios ambientales, salud, indicadores psicosociales y bienestar humano.





# SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA ECORREGIÓN DEL DELTA DEL PARANÁ: CONSIDERACIONES SOBRE USOS Y TENDENCIAS, Y CRITERIOS PARA SU CONSERVACIÓN

*Ecosystem services in Paraná Delta Ecoregion: considerations on applications, trends and approaches to its conservation*

**Priscilla G. Minotti<sup>1</sup>, Claudio Baigún<sup>2</sup>, Patricia Kandus<sup>1</sup>, Rubén D. Quintana<sup>3</sup>  
Marta Borro<sup>1</sup>; Facundo Schivo<sup>1</sup>; Natalia Morandeira<sup>1</sup>; Patricia Gramuglia<sup>1</sup> y  
Flores Brancolini<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Grupo de Investigaciones en Ecología de Humedales (GIEH). Laboratorio de Ecología, Teledetección y Ecoinformática (LETyE), Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA), Universidad Nacional de San Martín, Peatonal Belgrano 3563, piso 1, (1650) Gral. San Martín, Pcia. de Buenos Aires, Argentina;

<sup>2</sup>IIB-INTECH, Camino de Circunvalación, Laguna Km 6, 7130 Chascomús, Argentina

<sup>3</sup>Grupo de Investigaciones en Ecología de Humedales (GIEH). Laboratorio de Ecología Regional, Dpto. de Ecología, Genética y Evolución, FCEyN, Universidad de Buenos Aires, Pabellón II, Ciudad Universitaria, 1428 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. pminotti@unsam.edu.ar

## RESUMEN

El Delta del Paraná constituye un macrosistema de humedales formado por una intrincada trama de cursos de agua, madrejones, bañados, esteros y cañadas interconectados por flujos internos. Su diversidad biológica y complejidad ambiental han permitido el desarrollo de diversas actividades productivas entre las que se destacan la pesca, caza, forestación y ganadería y que históricamente fueron practicadas de manera estacional y acopladas al régimen de pulsos de crecidas, siendo así considerados servicios ecosistémicos. Dichas prácticas han comenzado a modificarse favorecidas por la pérdida de regularidad e intensidad de estos pulsos y la consiguiente pérdida de conectividad del pasaje fluvial, la creciente demanda de los mercados exportadores y el avance de la agricultura en la región pampeana. Estos factores sumados al desarrollo de obras ingenieriles mal concebidas que alteran los patrones de drenaje y por lo tanto modifican el paisaje fluvial drásticamente, amenazan la conservación de los humedales y su biodiversidad asociada. Se recomienda y discute la necesidad de aplicar criterios ecohidrológicos como la mejor estrategia para continuar con el uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales del delta y conservar los servicios ecosistémicos.

**Palabras clave:** humedales, Delta del Paraná, servicios ecológicos, pulsos de inundación, integridad ecológica

## SUMMARY

The Paraná River Delta Region is a macrosystem of wetland formed by a network of water courses, marshes, shallow lakes, and forests connected in between by internal fluxes. Its biological diversity and environmental complexity allow the development of many productive activities such as fishing, hunting, afforestation and cuttle ranching which were historically considered ecosystem services and have been made seasonally and coupled with the flooding pulse regime. However, during the last years such practices started to be modified due to decreasing of pulse regularity and intensity promoting the lost of fluvial landscape connectivity, the increase of demands by

exportation markets and the agriculture expansion in the Pampean region. Such factors, in addition to unsuitable engineering works modifying the drainage patterns and river landscape, are affecting wetland conservation and their associated biodiversity. We encourage and discuss the need to apply eco-hydraulic criteria as the best strategy to sustain natural delta resources and to maintain ecosystem services.

**Key word:** Wetland, Delta de Delta del Paraná, ecological service, flood pulse, ecological integrity

## INTRODUCCIÓN

El Delta del Paraná puede ser considerado como un macrosistema de humedales (Neiff y Malvárez, 2004), constituido por una intrincada trama de cursos de agua, madrejones, bañados, esteros y cañadas interconectados por flujos internos (Kandus *et al.*, 2009). El Delta integra la porción terminal de la cuenca del Paraná con una superficie de 17.500 km<sup>2</sup>, con la característica distintiva de ser totalmente de agua dulce y de desembocar en el Río de la Plata, lo que lo convierte en el mayor delta interior del mundo (Figura 1).

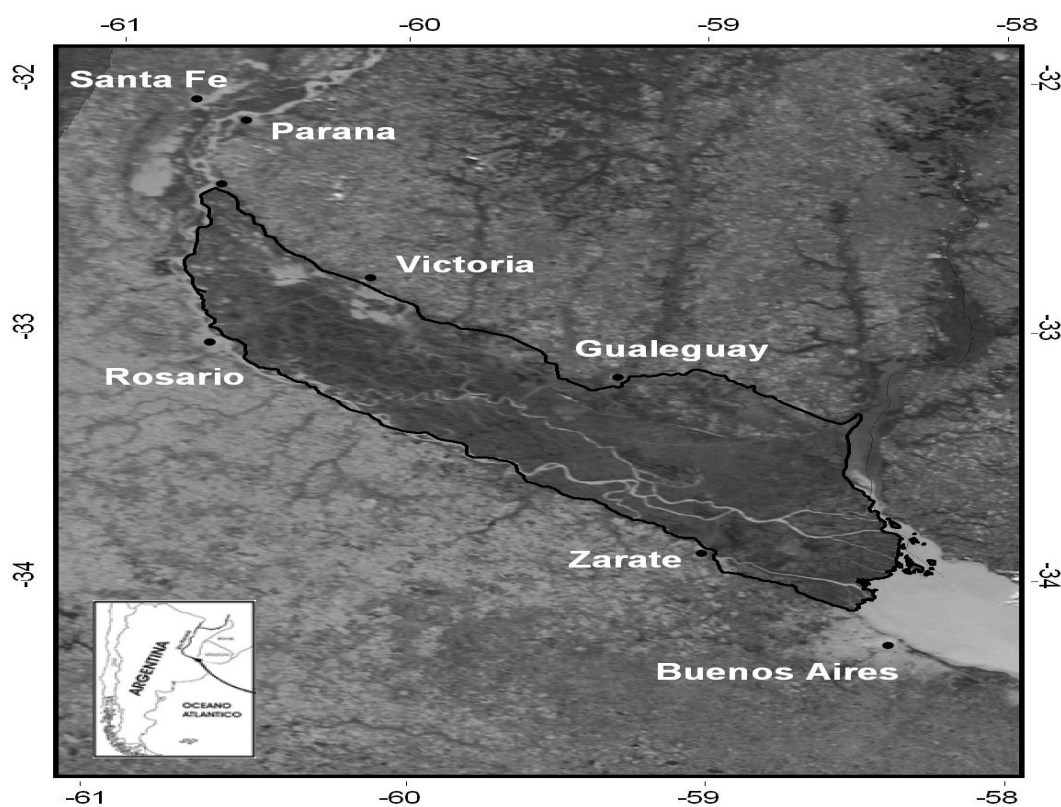


Figura 1. Región del Delta del Río Paraná, Argentina. Imagen Terra-Modis del 16 de enero de 2004 (longitud de onda del azul).

En el sector aguas arriba, la influencia dominante del río Paraná permite advertir una estacionalidad de pulsos que caracteriza a la cuenca alta y media, donde la máxima crecida tiene lugar hacia fin del verano y existe un pico secundario sobre el final del otoño (Neiff y Carignan, 1992). Este patrón se diluye en parte a medida que el agua se distribuye en su porción media y sobre todo en su sector inferior del delta debido a la influencia de lluvias locales, el aporte de los ríos Gualeguay y Uruguay y el efecto de mareas que le imprime el Río de la Plata por su comunicación directa con el Océano.

Dicha complejidad hidrológica se traduce en la diversidad espacial de sus características ecológicas, lo que ha llevado a considerar el Delta como un mosaico de diferentes regiones ecohidrológicas (Malvárez, 1999) y con unidades geomórficas distintivas (Kandus *et al.*, 2006). Esta heterogeneidad ambiental proporciona asimismo una rica variedad de hábitats que sostiene una alta biodiversidad, asociada en muchos casos a la provisión de diversos servicios ecológicos que son propios de sistemas de humedales (Tindamanyire, 2003). Aún cuando la información específica es fragmentaria se reconoce que el delta es un área de gran importancia para la biodiversidad (Quintana *et al.*, 2002), pero también significativa por los servicios ecológicos que brinda y que difieren según diferentes características del paisaje y área geográfica (Rosato, 1988; Malvárez *et al.*, 1999; Bo y Quintana, 1999; Kandus *et al.*, 2006). El creciente desarrollo de actividades industriales, urbanas, agrícola-ganaderas, pesqueras, forestales etc. y obras ingenieriles encaradas sin considerar la dinámica natural del delta podría, sin embargo, representar una seria fuente de impactos que convierten a dichas actividades en no sustentables y con el consiguiente deterioro del paisaje fluvial y pérdida de su biodiversidad (Baigún *et al.*, 2008).

El objetivo del presente trabajo es analizar y evaluar los cambios temporales y espaciales que se observan en las principales actividades productivas del delta y que directa o indirectamente pueden impactar sobre la biodiversidad de la región reduciendo los beneficios que brindan los servicios ecológicos. Asimismo se vierten consideraciones sobre la importancia de adoptar un enfoque eco-hidrológico como alternativa válida para conservar estos servicios y practicar un uso sustentable de los recursos naturales.

### **Análisis de actividades productivas como servicios ecológicos**

La diversidad biológica de los humedales proporciona una amplia variedad de productos animales y vegetales. Entre ellos se destacan: frutos, semillas, peces, aves, reptiles, huevos de tortugas, forraje, fibras para papel, leña, así como también materiales para construcción de viviendas como ser: madera, resinas y hojas de plantas (Tabilo-Valdivieso, 1999). En el caso del delta, el aprovechamiento de varios de estos recursos ha sido una práctica adaptada a las características hidrológicas particulares de la región habiéndose observado que más del 25% de las especies de mamíferos, reptiles, anfibios y aves no paseriformes y el 47% de los peces tienen algún tipo de uso por parte del hombre y contribuyen a una parte fundamental de la economía de las comunidades locales (Quintana *et al.*, 1992). Por su parte, la pesca del sábalo (*Prochilodus lineatus*), especie muy abundante en la región del delta del Paraná, representa un recurso propio y valorado del sistema de humedales de esta zona de la cuenca (Baigún *et al.*, 2008). A continuación se presenta una síntesis de las características más destacadas que presentan algunas de las principales actividades que se realizan y de los cambios sufridos en las últimas décadas.

#### **1. Pesca**

La pesca es una actividad tradicional en la baja cuenca del Paraná, siendo particularmente relevante la de tipo artesanal y comercial de reducida escala. La especie principal es el sábalo (Espinach Ros y Fuentes, 2000) que representa el 60 % de la biomasa de peces que se ha estimado en ambientes lénticos del valle aluvial del Paraná Medio (Bonetto *et al.*, 1970). La pesquería de esta especie, aún cuando poco documentada, muestra un importante cambio en los patrones de explotación en los últimos años (Figura 2).

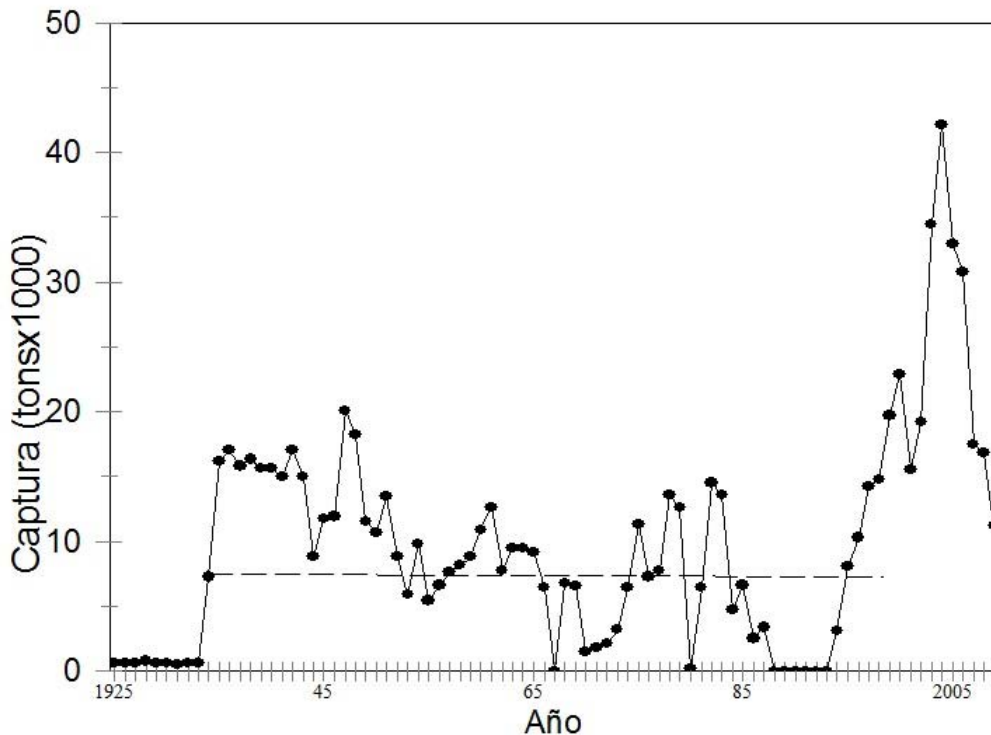


Figura 2. Capturas de sábalo en la cuenca media y baja del río Paraná. La línea punteada representa el promedio de capturas entre 1930 y 1995.

Los desembarcos, mayormente provenientes del puerto de Victoria, presentan una tendencia estable hasta la mitad de la década de 1990, con una captura media anual promedio de 10 mil toneladas. La pesca se encontraba regulada por una demanda estacional, siendo la captura destinada a consumo interno y producción de aceite exportándose un volumen del 15 % aproximadamente (Boivin y Minotti, 1990). La mayoría de los pescadores asignaban a la pesca tiempo parcial combinando la misma con la caza y otras actividades como medio de subsistencia (Rosato, 1988). Esta situación comenzó a modificarse a partir de 1995 y particularmente hacia el inicio del siglo XXI, empujada por los beneficios económicos que comenzó a brindar la exportación del sábalo hacia países de América Latina, promoviendo la instalación de unas 15 plantas frigoríficas en la región. Ello favoreció un notable incremento de las capturas, llegándose a cuadruplicar los valores históricos en pocos años al superarse las 40 mil toneladas en 2004 y obligando a una regulación drástica de las exportaciones a partir de 2006 (Figura 2). Este fenómeno se vio acompañado por una visible tendencia en la reducción de las tallas medias (Baigún *et al.*, 2008) y llevó a considerar el recurso en situación de criticidad en 2006 (Espinach Ros y Sanchez, 2007).

## 2. Forestación

En el Delta del Paraná la producción de frutas y de álamo (*Populus* sp.) fue una actividad rentable y usual hasta la década de 1960, cuando la repetición de inundaciones intensas y fríos extremos redujeron esta actividad a niveles no compatibles con su sustentabilidad económica (Bó y Quintana, 1999; Quintana, 2005). En un intento por reflotar la actividad maderera a partir de 1970 se estimuló la plantación del sauce (*Salix* sp.) y del álamo acompañados por la instalación de plantas procesadoras en la región. El pico productivo se alcanzó en 1979 lográndose un área cultivada 110.000 hectáreas



(Borodowsky, 2006). En los años 1982-83 la creciente derivada de El Niño ocasionó pérdidas sustanciales. Actualmente la actividad forestal está mayormente dirigida a la fabricación de pulpa de papel, siendo una actividad económica en expansión. El cultivo mas intensivo de ambas especies, pero particularmente del álamo, que actualmente representa el 20 % de la producción, ha comenzado a impactar en el paisaje de las islas debido a la remoción de pajonales, levantamientos de terraplenes y obras de polderización que alteran el drenaje y la retención de agua en las partes interiores de las islas (Quintana y Kalesnik, 2007). Otras especies también explotados son *Prosopis nigra* y *Acacia caven* que se utilizan para leña. (Quintana *et al.*, 2002).

### 3. Ganadería

Esta actividad ha tenido históricamente un régimen estacional siendo mas intensa hacia la finalización del invierno y primavera cuando el sistema ingresa en su máximo estiaje (Rosato, 1988). El avance de la frontera agrícola en el área pampeana, particularmente debido a la intensificación del cultivo de soja, ha empujado el ganado hacia las áreas marginales, incluyendo las islas del Delta, muchas de ellas aun de propiedad fiscal. De manera concurrente, la pérdida de regularidad de los ciclos de inundación que se viene observando desde 1999 ha estimulado la permanencia del ganado en las islas todo el año. Ello ha provocado que la cantidad de cabezas de ganado en todo el Delta se incrementaran de 160.000 en 1997 hasta 1.500.000 en 2007, mientras que en el eje Rosario-Victoria varió de 40.000 a 190.000 entre 2004 y 2007 (Belloso, 2007).

### 4. Caza

La caza en el Delta representa un medio de vida típico, que incluye mamíferos, reptiles y anfibios, teniendo lugar a lo largo del todo el año (Rosato, 1988, Quintana *et al.*, 2002). Las especies más importantes desde un punto de vista comercial son el coipo (*Myocastor coypus*) y el carpincho (*Hydrochaeris hydrochaeris*) cuya captura sirve no sólo como fuente de alimentación sino que sus cueros además poseen un alto valor de venta (Bó y Quintana, 1999). En el caso de la nutria, el Delta representa un área de extraordinaria importancia proveyendo el 40 % de lo que se comercializa a nivel nacional (Bo *et al.*, 2005) y habiéndose estimado una captura anual de 400.000 ejemplares (Quintana *et al.*, 2002). Recientemente, sin embargo, la abundante presencia de individuos juveniles en las capturas indicaría una sobreexplotación de este recurso (Bo *et al.*, 2005).

### **Impactos y amenazas sobre los servicios ecológicos y la biodiversidad**

El Delta por su extensión puede ser aún considerado como un macrosistema en buen estado de conservación. Los factores claves para ello son el mantenimiento de los pulsos hidrológicos y biogeoquímicos, y la provisión de hábitats adecuados para vegetación, peces y vida silvestre. Muchas especies utilizan los humedales para mantener poblaciones viables (ej. el carpincho –*Hydrochoerus hydrochaeris*-, el yacaré –*Caiman latirostris* y *C. jacaré*-, el ciervo de los pantanos –*Blastocerus dichotomus*- y el lobito de río –*Lontra longicaudis*-), mientras que otras los utilizan sólo en una parte de sus ciclos de vida o épocas del año, como es el caso de muchas aves (Quintana *et al.*, 2002). Sirven asimismo como áreas de cría, refugio y alimentación para los peces (Agostinho *et al.*, 2004).

La pérdida de pulsos de inundación, y su minimización mediante levantamientos de terraplenes costeros para evitar las crecientes o facilitar la instalación de caminos, pueden ejercer un alto impacto sobre los patrones de drenaje. El caso mas emblemático es sin duda el viaducto que une las ciudades de Rosario y Victoria, que atraviesa 65 km

de humedales, que han quedado virtualmente aislados por el encauzamiento u obliteración de los cursos secundarios que atravesaban dicha zona. Al sur de Rosario, el impacto de las hidrovías que permiten el ingreso de grandes barcos de ultramar, exacerba la pérdida de humedales en periodos de estiaje, acelerando el escurrimiento y el transporte de sedimentos hacia los cauces principales y restando caudal a los cursos secundarios, pero también favoreciendo la erosión costera por el oleaje generado por la navegación de dichas embarcaciones. En este sentido los cursos del Delta poseen características morfológicas próximas al río Paraguay en el cual se han estudiado los impactos de estas obras sobre los humedales (Hamilton, 1999; Gottgens *et al.*, 2001).

Por su parte, las actividades forestales han contribuido en los últimos años a modificar los patrones de drenaje interior en las islas, sin embargo aquellos que se han desarrollado mediante irrigación por canales abiertos han resultado beneficiosos para especies como la nutria y el lobito de río al generar una intrincada red que posee efecto de corredor de dispersión (Quintana, 1999) y actuando como áreas de alimentación y refugio (Bó y Quintana, 1999). Por el contrario, la forestación que se basa en la construcción de polders anula la conectividad entre el interior de la isla y el entorno, desecando los humedales interiores y sus pajonales asociados. Estos son además removidos para reducir la competencia por nutrientes con los renovales de sauces y la aplicación de herbicidas (Garau *et al.*, 2006; Achinelli *et al.*, 2006).

La conservación de la vegetación de pajonal resulta de gran importancia no sólo como un hábitat crítico para diferentes organismos (carpinchos, nutrias e inclusive ciervo de los pantanos) y como amortiguador de excedentes hídricos, sino porque proporciona un servicio ecológico de notable importancia (pero aun no debidamente evaluado) como es el secuestro de carbono atmosférico y el aporte de materia orgánica al suelo. La importancia de los pajonales queda reflejado en su notable extensión en las islas del Delta, representado el principal tipo de cobertura de la región, caracterizados por el dominio de *Schoenoplectus californicus* (junco) o *Scirpus giganteus* (cortadera) (Kandus *et al.*, 2006). Si bien existen mediciones aún preliminares, se ha observado que estas comunidades exhiben una producción primaria de 10 a 15 veces mayor que los cultivos teniendo sin embargo una biomasa 10 veces menor y exhibiendo una acumulación de materia orgánica en los suelos cinco veces mayor (Vicari *et al.*, 2009) (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación entre biomasa vegetal aérea, materia orgánica en suelo, productividad primaria y material orgánica total (toneladas) entre diferentes tipos de cobertura vegetal en el bajo delta (modificado de Baigún *et al.* 2008).

Tipo de vegetación	Biomasa (BA) (t)	Materia orgánica en suelo (t)	Producción primaria neta (PP) (t.km <sup>-2</sup> )	PP/B A	Materia orgánica total (t)
<i>Salix spp</i>	9.230.760	10.175.000	927	0.13	19.405.760
<i>Scirpus giganteus</i>	653	95.949.560	1.013.349	1.5	96.602.580
<i>S. californicus</i>	392	10.075.140	736	1.9	10.467.620
Total	9.231.805	116.199.700	1.015.012		126.475.960

A su vez, una parte de la materia orgánica, se exporta hacia los cursos de agua y el estuario cuando el pajonal se inunda, aportando energía para la producción secundaria general del humedal y del sistema hídrico. Pratolongo *et al.* (2007) estimaron una

productividad primaria neta anual hasta 1819 g/m<sup>2</sup>.año para los pajonales de *Scirpus giganteus* sometidos a mareas de agua dulce en el bajo Delta. Una buena parte del material producido queda retenido como carbono orgánico en el suelo, según el grado de circulación del agua, que se comporta como un regulador de los procesos de descomposición. Esta alta productividad de los pajonales y praderas herbáceas del Delta en general explica el uso de estas áreas para la producción ganadera, tanto por la disponibilidad de agua como por la cantidad y calidad de las especies forrajeras como carrizo (*Panicum grumosum*), canutillo (*Panicum elephantipes*), cebadilla de agua (*Glyceria multiflora*) y lagunilla (*Althernantera philoxeroides*).

Posiblemente uno de los impactos más preocupantes actualmente, es el ocasionado por la ganadería, la cual ha mutado de ser una actividad estacional a casi estable debido a la reducción de inundaciones regulares (Malvárez *et al.*, 1999, Kandus *et al.*, 2006). Una mayor carga de ganado impacta directamente sobre los hábitats para la vida silvestre y cría de peces y anfibios, altera o elimina la estructura de la comunidad vegetal, reduce la humedad del suelo y modifica su composición química, destruye los bancos costeros y altera la calidad del agua. Posee asimismo un efecto directo sobre la fauna nativa al competir por el alimento (Quintana y Bó 1998).

Por otra parte, no menos relevantes son las funciones ecológicas que cumplen los humedales al brindar valiosos servicios que aportan al bienestar de las poblaciones que habitan la región. La existencia de humedales ayuda a disipar energía del agua expresada en la habilidad para reducir la velocidad de la corriente y almacenar los excesos de agua en épocas de crecientes o para mantener los niveles de agua durante parte de la estación seca (Canevari *et al.*, 1998). En los sistemas de humedal donde las entradas y salidas del agua están relacionadas con flujos superficiales horizontales, el régimen de circulación del agua está íntimamente relacionado con la función de retención y estabilización de sedimentos por la disminución de la energía cinética del agua (Smith *et al.*, 1995). Cuando existe abundante vegetación palustre el efecto es mayor y, en algunos casos, acelera la creación de nuevas tierras como en el caso de los Deltas (Kandus y Malvárez, 2004). La sistematización de tierras mediante la polderización (para agricultura, ganadería y forestación) con el fin de transformar los humedales en sistemas con propiedades terrestres, no permite la retención de sedimentos y nutrientes de los ríos, además reducir la capacidad de amortiguación de los excedentes hídricos provocados por inundaciones y del almacenaje de agua dulce (Kandus *et al.*, 2006, Kandus *et al.*, 2009). Asimismo, es bien conocida su capacidad para retener y secuestrar contaminantes, particularmente metales pesados (Villar *et al.*, 1999). La Figura 3 resume cómo diferentes factores potencian la pérdida de servicios ecosistémicos a través del cambio en los patrones de drenaje y la alteración de la dinámica de pulsos de inundación.



Figura 3. Relación entre factores que afectan los servicios ecosistémicos en el delta por modificación del drenaje y reducción de pulsos de inundación.

### Criterios de sustentabilidad

El Delta del Paraná, al igual que el Paraná Medio, aun retiene una alta integridad lo que le ha valido ser considerado como un sitio de referencia (Nestler *et al.*, 2007) al brindar una oportunidad única para examinar cómo la dinámica de los procesos hidrológicos, geomorfológicos y bioquímicos regula el funcionamiento de estos sistemas proveyendo valiosos servicios ecológicos y sosteniendo una alta biodiversidad. Sin embargo, el desarrollo de ciertas actividades productivas, obras hidrotécnicas, contaminación, etc. requiere poner en marcha planes de manejo y criterios de uso de los recursos que sean compatibles con la dinámica natural del Delta. De tal modo, toda actividad que se realice en esta región debe enmarcarse necesariamente en un contexto ecohidrológico (Zalewski, 2002, 2004), si el objetivo es lograr un manejo sustentable de largo plazo a una escala ecoregional y que a su vez maximice los beneficios sociales y económicos sin comprometer su integridad ecológica.

En este contexto es necesario evitar la aplicación de medidas de manejo que son propias de áreas geográficas con condiciones de entorno muy diferentes, como puede ser la región pampeana. La visión actual de que el Delta en su condición presente posee escaso valor como sistema productivo, induce a la aplicación de políticas de manejo que favorecen su degradación a partir del drenado, rellenado y también de la derivación de cursos de agua, a fin de ganar tierras para usos terrestres (agropecuarios, forestales, zootécnicos o urbanos) o usos exclusivamente acuáticos (represas, acuicultura). Esta perspectiva se basa en el reemplazo de los humedales como parte de una estrategia productiva, lo que revela una falta de percepción acerca de cómo funciona el Delta como ecosistema, y de qué bienes y servicios se perderían si el mismo sufre un proceso de “pampeanización”. Ello no es casual, dado que particularmente durante el último

siglo, los humedales han sido considerados tierras improductivas y focos de generación de enfermedades. Este proceso de degradación de los humedales implicaría transformarlos en áreas desecadas, protegiendo los cultivos y el ganado con terraplenes y diques y eliminando así las inundaciones anuales y la libre conexión entre los cuerpos de agua interiores de las islas y los cauces principales y secundarios. Una consecuencia directa de ello, por ejemplo, sería la pérdida de sustentabilidad de las pesquerías, dado que las lagunas interiores de las islas y los pequeños cauces secundarios que discurren entre ellas y las conectan, representan áreas de cría de peces. En el caso del sábalo, sus larvas necesitan ingresar en estos sistemas para obtener refugio y crecer a partir del estadio juvenil a expensas del detrito rico en hongos, bacterias, aminoácidos y moléculas en proceso de descomposición que se depositan tras las crecidas. Esta tendencia comienza a aparecer también en la visión desarrollista e ingenieril sobre el uso del paisaje en el bajo Delta, donde los emprendimientos urbanos avanzan sobre las áreas costeras sin integrarlas ni mantener su estructura de vegetación como valor paisajístico, o bien por la construcción de obras viales que alteran drásticamente el drenaje promoviendo la desaparición irreversible de los humedales.

Sin duda, la principal falencia de esta perspectiva, es no considerar la importancia que poseen los humedales como generadores de valiosos servicios ecosistémicos, que subsisten en tanto no se altere de manera significativa su integridad ecológica. Este concepto proporciona el marco necesario para la protección de procesos naturales y la conservación de la biodiversidad como sostén de la estructura biológica de los ecosistemas fluviales. En este contexto, los pulsos de inundación son componentes críticos que desencadenan importantes fenómenos ecológicos (Junk *et al.*, 1989; 2004). Ellos regulan el intercambio y almacenamiento de materia orgánica entre los cauces y las llanuras aluviales o humedales interiores de las islas, influenciando a su vez la distribución y abundancia de los componentes de biodiversidad (Ward *et al.*, 1999). En el caso del Paraná el carbono orgánico disuelto, que representa la fracción dominante de carbono (Depetris y Paolini, 1991), y el particulado, en menor medida, son exportados fuera de las llanuras aluviales y humedales al bajar el nivel de las aguas, estimulando la productividad del sistema fluvial al transportar nutrientes adsorbidos a los sólidos suspendidos (Bonetto *et al.*, 1989). Así la producción autotrófica y heterotrófica se torna altamente dependiente del metabolismo del carbono y reciclado de nutrientes (Depetris y Kempe, 1993).

## CONCLUSIONES

Las funciones ecosistémicas de los humedales (almacenaje de carbono, hábitat para fauna silvestre, recarga de acuíferos, filtrado de contaminantes, almacenaje de agua, entre otros) se diferencian de aquellas de los ecosistemas terrestres y acuáticos en su alta dependencia del régimen hidrológico. Un aspecto crítico es que a menudo no se percibe esta íntima relación entre el mantenimiento del régimen hidrológico, los componentes estructurales de los humedales (biodiversidad a todas sus escalas) y las funciones ecosistémicas. Este es un concepto muy importante porque cualquier emprendimiento de infraestructura en un humedal constituye inevitablemente una obra hidráulica, que aún con alteraciones mínimas en el patrón de drenaje, puede eliminar el humedal. Las modificaciones por obras o acciones sin tener en cuenta este aspecto afecta en forma directa o indirecta sus propiedades ecológicas y sus procesos funcionales como también, eventualmente, la de los ecosistemas vecinos. Dado que los servicios y bienes provistos por los humedales frecuentemente no tienen una valoración económica directa y a corto plazo, su conservación y gestión se condiciona o compara erróneamente con actividades cuyo beneficio aparente es mayor o es percibido como de rápido retorno. Estas

limitaciones potencian el riesgo de pérdida de los beneficios y servicios que brindan los humedales a la sociedad y que exceden el mero beneficio económico. Se concluye así que la conservación de estos sistemas, su biodiversidad y los servicios ecológicos asociados dependen de no alterar significativamente sus procesos naturales, debiéndose aplicar únicamente criterios ecohidrológicos para su gestión y su aprovechamiento sustentable.

## AGRADECIMIENTOS

Los conceptos vertidos en este capítulo fueron desarrollados en el marco del proyecto PICT 1849 financiado el programa FONCyT de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de la Argentina.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACHINELLI, F.; APARICIO, A.; DELGADO, M.; JOUANNY M.; y MARLATS, M. 2006. Malezas en las forestaciones con Salicáceas del Delta del Paraná: efectos netos de las interacciones y respuesta del cultivo a distintos tratamientos de control. Pp. 199-206 en Actas Jornadas de Salicáceas 2006, Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- AGOSTINHO, A.A.; THOMAZ, S.M. y GOMES, L.C. 2004. Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Parana River: effects of hydrological regulation by dams. *Ecohydrol. & Hydrobiol.* 4: 267-280.
- BAIGÚN, C., G. MINOTTI, P.; .KANDUS, P.; QUINTANA, R.; VICARI, R.; PUIG, A.; OLDANI, N.O. y NESTLER, J.M. 2008. Resource use in the Parana River Delta (Argentina): moving away from an ecohydrological approach? *Ecohydrol. & Hydrobiol.* 8: 245-262.
- BELLOSO, C. 2007. Contaminación en las islas frente a la ciudad de Rosario por futura expansión de la explotación ganadera. On line: [http://www.taller.org.ar/Agua/Humedales/Contaminacion\\_islas\\_exp\\_ganadera.pdf](http://www.taller.org.ar/Agua/Humedales/Contaminacion_islas_exp_ganadera.pdf)
- BÓ, R.F. y QUINTANA, R.D. 1999. Actividades humanas y biodiversidad en humedales: el caso del Bajo Delta del Río Paraná. Pp. 291-315 en Matteucci, S.D., O.T. Solbrig, J. Morello, y G. Halffter (eds.). Biodiversidad y uso de la tierra. Conceptos y ejemplos de Latinoamérica, Colección CEA, EUDEBA, Buenos Aires, Argentina.
- BÓ, R.F., PORINI, G.; ARIAS, S.M. y CORRIALE, M.J. 2005. Estudios ecológicos básicos para el manejo sustentable del coipo (*Myocastor coypus*) en los grandes sistemas de humedales de Argentina. Humedales fluviales de América del Sur. Hacia un manejo sustentable. Pp 111-128 en Peteán, J y J. Cappato (comp.). Ediciones PROTEGER, Santa Fe, Argentina.
- BOIVIN, M. y MINOTTI, P.G. 1990. Estudio integral sobre las características y el aprovechamiento de la fauna ictícola en la zona de islas del Departamento de Victoria, Entre Ríos. Informe Final, Convenio Consejo Federal de Inversiones-Gobierno de Entre Ríos, Argentina.
- BONETTO, A.A.; CORDIVIOLA DE YUAN, E. y PIGNALBERI, C. 1970. Nuevos datos sobre poblaciones de peces en ambientes permanentes del Paraná Medio. *Physis* 30: 141-154.
- BONETTO, A.A., WAIS, I. y CASTELLO, H. 1989. The increasing damming of the Parana basin and its effects on the lower reaches. *Reg. Rivers. Res. Manag.* 4: 333-346.

- BORODOWSKY, D.E. 2006. Álamos y sauces en el Delta del Paraná: situación del sector y silvicultura. Pp. 61-70 en Actas de las Jornadas de Salicáceas, Buenos Aires, September 2006.
- CANEVARI, P.; BLANCO, D.; BUCHER, E.; CASTRO, G. y DAVIDSON, I. 1998. Los humedales de la Argentina. Clasificación, situación actual, conservación y legislación. *Wetlands Internacional*. Pub. Nro.46.
- DEPETRIS, P.J. y PAOLINI, J.E. 1991. Biogeochemical aspects of South American rivers: The Parana and the Orinoco. *Pt. 1. Mitt. Geol.-Palaont. Inst. Univ. Hamburg*, SCOPE/UNEP Sonderbd. 52.
- DEPETRIS, P. y KEMPE, S. 1993. Carbon dynamics and sources in the Parana River. *Limnol. Oceanogr.* 38:382-395.
- ESPINACH ROS, A. y FUENTES, C. 2000. Recursos pesqueros y pesquerías de la Cuenca del Plata. Pp. 353-388 en Bezzi, S., R. Akselman y E. Boschi (eds.). Síntesis del estado de las pesquerías marítimas argentinas y de la Cuenca del Plata. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, Argentina.
- ESPINACH ROS, A. y SANCHEZ, R.P. 2007. Proyecto de evaluación del recurso sábalo en el Paraná. Informe de los resultados de la primera etapa (2005-2006) y medidas de manejo recomendadas. Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación, Serie Pesca y Acuicultura: Estudios e Investigaciones Aplicadas Nro 1, Buenos Aires, Argentina.
- GARAU, A., CACCIA, F.; GUARNASCHELLI, A.; APUD, N.; ZWEEGMAN, E.; CORTIZO S. y MEMA, V. 2006. Efecto de prácticas de control de la vegetación del pajonal sobre el crecimiento de *Salix* en el Delta del Paraná. Pp. 215-221 en Actas Jornadas de Salicáceas, Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina.
- GOTTGENS, J.F., PERRY, J.E.; FORTNEY, R.H.; MEYER, J.E.; BENEDICT, M. y ROOD, B.E. 2001. The Paraguay-Parana Hidrovia: protecting the Pantanal with lessons from the past. *BioScience* 51: 301-308.
- HAMILTON, K. 1999. Potential effects of a major navigation project (the Paraguay-Parana Hidrovia) on inundation in the Pantanal floodplains. *Reg. Rivers Res. Manag.* 15: 289-299.
- JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B. y SPARKS, R. E 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Pp. 106-127 en Dodge, D. P. (ed.). Proceedings of the International Large River Symposium. Canadian Spec. Publ. Fish.Aquatic Sci. 106.
- JUNK, W.J. y WANTXEN, K.M. 2004. The flood pulse concept: New aspects, approaches and applications. An update. Pp.117-148 en Welcomme, R. y T. Petr (eds.). Proceedings of the Second International Symposium of the Management of Large Rivers for Fisheries, Vol II. FAO.
- KANDUS P. y MALVÁREZ, A.I. 2004. Vegetation Patterns and Change Analysis in the Lower Delta Islands of the Paraná River (Argentina). *Wetlands*, 24: 620-632.
- KANDUS, P.; QUINTANA, R.D. y BÓ, R.F. 2006. Patrones de paisaje y biodiversidad del Bajo Delta del río Paraná. Mapa de ambientes. Pablo Casamajor (ed.), Buenos Aires, Argentina.
- KANDUS, P. ; QUINTANA, R.D.; MINOTTI, P.G.; DEL PILAR ODDI, J.; BAIGÚN, C.; GONZALEZ TRILLA, G. y CEBALLOS, D. 2009. Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios. En: Expansión e intensificación agrícola en Argentina: Valoración de bienes y servicios ecosistémicos para el ordenamiento territorial. Laterra, P., E. Jobaggy y J. Paruelo (eds.) (en prensa).

- MALVÁREZ, A.I., 1999. El Delta del río Paraná como mosaico de humedales. Pp. 35-53 en Malvárez, A.I. (ed.). Tópicos Sobre Humedales Subtropicales y Templados de Sudamérica, MAB-ORCYT, Montevideo, Uruguay.
- MALVÁREZ, A.I.; BOIVÍN, M. y ROSATO, A. 1999. Biodiversidad, uso de los recursos naturales y cambios en las islas del Delta Medio del Río Paraná (Dto. Victoria, Provincia de Entre Ríos, Argentina. Pp. 293-317 en Matteucci S., O. Solbrig, J. Morello, y G. Halffer (eds.). Biodiversidad y usos de la tierra. Conceptos y ejemplos de Latinoamérica. EUDEBA, Buenos Aires, Argentina.
- NEIFF, J.J. y CARIGNAN, R. 1992. Nutrient dynamics in the floodplain ponds of the Paraná River (Argentina) dominated by **Eichhornia crassipes**. **Biogeochemistry** , 17 (1): 85-121.
- NEIFF, J.J. y MALVÁREZ, A.I. 2004. Grandes humedales fluviales. Pp. 77-87 en Malvárez, A.I. y R.F Bo (comp.). Documentos del curso taller “Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina”, Buenos Aires 30 de setiembre-4 de octubre de 2002, FCEyN, Ramsar, US, Buenos Aires, Argentina.
- NESTLER, J.M.; BAIGÚN, C.R.; OLDANI, N.O. y WEBER, L. 2007. Contrasting the middle Parana and Mississippi Rivers to develop a template for restoring large floodplain river ecosystems. *Intl. J. River Basin Manag.* 5: 305-319.
- PRATOLONGO P.; KANDUS, P. y BRINSON, M. 2007. Net aboveground primary production and soil properties of floating and attached freshwater tidal marshes in the Rio de la Plata estuary. *Estuaries and Coasts* 4:618-626.
- QUINTANA, R.; BO, R.; MERLER, J.; MINOTTI, P. y MALVAREZ, I. 1992. Situación y uso de la fauna silvestre en la región del Bajo Delta del río Paraná, Argentina. *Iheringia, Ser. Zool.*, Porto Alegre (73): 13-33.
- QUINTANA, R.D. 1999. Relación entre la estructura del paisaje en un humedal y la fauna silvestre: el carpincho (*Hydrochaeris hydrochaeris*) como caso de estudio. Pp. 185-204 en Malvárez, A. I. (ed.). Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica, ORCyT – MAB/ UNESCO, Montevideo, Uruguay.
- QUINTANA, R.D. 2005. El patrimonio natural y cultural como herramienta para el manejo sostenible de humedales: el caso del Bajo Delta del Paraná. Pp. 327-353 en Peteán, J y J. Capatto (comp.). Humedales Fluviales en América del Sur. Hacia un manejo sustentable. Ediciones Proteger, Santa Fe, Argentina.
- QUINTANA, R.D.; BÓ, R. y KALESNIK, F. 2002. La vegetación y la fauna de la porción terminal del Delta. Consideraciones ecológicas y biogeográficas. Pp. 99-124 en Borthagaray, M. (ed.). El Río de la Plata como territorio, Editorial Infinito, Buenos Aires, Argentina.
- QUINTANA, R.D. y BÓ, R. 1998. Actividades humanas y biodiversidad en humedales: El caso del Bajo Delta del RíoParaná. En "Estilos de desarrollo y conservación de la Biodiversidad en América Latina y el Caribe. Morello, J., Solbrig O. y Matteucci S. (eds). EUDEBA. Buenos Aires. Argentina.
- QUINTANA R.D. y KALESNIK, F.A. 2007. Wetlands modification and wildlife habitat suitability: can capybaras survive in a matrix of poplar and willow afforestations? *Insugeo, Miscelánea* 17 (Tucumán): 161-168.
- ROSATO, A M.1988. Ganadería, pesca y caza en el Delta bonaerense. Desarrollo Económico. *Revista de Ciencias Sociales* (Buenos Aires) 108: 607-626.
- SMITH, R.D., AMMANN, A., BARTOLDUS, C. y BRINSON, M.M., 1995. An approach for assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetlands, and functional indices. Wetlands Research Program Technical Report WRP-DE-9. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, USA



- TABILO-VALDIVIESO, E. 1999. El beneficio de los humedales en América Central: el potencial de los humedales para el desarrollo. 2 edición. WWF-PRMS-Universidad Nacional Heredia, Turrialba, Costa Rica. 58 pp.
- TINDAMANYIRE, T. 2003. Wetlands, water resources and agricultural productivity: an important synergy for biodiversity conservation. *Intl. J. Ecol. Environ. Sci.* 29: 39-46.
- VICARI, R., KANDUS, P.; PRATOLONGO, P. y BURGHI, M. 2009. Carbon budget alteration due to landcover-landuse change in wetlands. The case of afforestation in the lower Delta of the Parana River marshes Argentina). *Water & Environment* (en prensa).
- VILLAR, C.; VAITHIYANATHAN, P. y BONETTO, C. 1999. Impact of sea-level rise on coastal marshes of the lower Parana River and the Rio de la Plata estuary. *Current Topics Wetland Biogeochem.* 3: 182-193
- WARD, J.V.; TOCKNER K. y SCIEMER, F. 1999. Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity. *Reg. Rivers Res. Manag.* 15: 125-139.
- ZALEWSKI, M. 2002. Ecohydrology—the use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources. *Hydrol. Sc. J.* 47: 823–832.
- ZALEWSKI, M. 2004. Ecohydrology: an interdisciplinary approach for wetland management and restoration. *Ecohydrol. & Hydrobiol.* 4: 229-235.



# CAMBIOS EN LAS PESQUERÍAS MARINAS ARGENTINAS EN LAS DOS ÚLTIMAS DÉCADAS: PERSPECTIVAS EN EL MARCO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

*Changes in the marine fisheries argentines in the last two decades: perspectives in the context of climatic change*

Andrea D. Tombari<sup>1\*</sup>, Daniela Fuchs<sup>1,2,3</sup>, Cecilia Kunert<sup>1</sup>, Roberta Callicó Fortunato<sup>1</sup> y Alejandra V. Volpedo<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria, Pabellón II, 4° piso, (C1428EHA) Buenos Aires.

<sup>2</sup>Sección Ictiología, División Zoología Vertebrados, Museo de La Plata. Paseo del Bosque s/n°, (B1900FWA). La Plata, Buenos Aires.

<sup>3</sup>Becaria de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica

<sup>4</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

<sup>5</sup>Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias- Universidad de Buenos Aires. Av. Chorroarín 280 (C1427CWO), Buenos Aires. \*tombari@bg.fcen.uba.ar

## RESUMEN

Las pesquerías comerciales marinas de Argentina han evolucionado en las últimas dos décadas de manera intensiva. Esto se ha debido principalmente a los requerimientos en calidad y cantidad de los mercados europeo y asiático. En este trabajo se presentan la tendencia de las capturas de las principales especies costeras y de altura, y los cambios en la flota pesquera en las dos últimas décadas. De los datos analizados, se obtuvo que las especies comerciales más importantes fueron: abadejo (*Genypterus blacodes*), anchoíta (*Engraulis anchoita*), caballa (*Scomber japonicus*), corvina rubia (*Micropogonias furnieri*), merluza común (*Merluccius hubbsi*), merluza de cola (*Macruronus magellanicus*), pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*), pez palo (*Percophis brasiliensis*) y polaca (*Micromesistius australis*). De los resultados analizados desde 1992 a la actualidad, si bien no se observan grandes variaciones en toneladas de captura, se obtuvieron dos pulsos. Los valores máximos se encuentran en los años intermedios de cada pulso y los mínimos al comienzo y final de los mismos. Estos resultados estarían asociados a la incorporación de buques congeladores medianos a la flota industrial (tangones, palangreros, poteros), a la incorporación de congeladores con procesos definidos (elaboración de surimi), a la renovación de la flota de buques fresqueros y costeros, a las nuevas normativas y reglamentaciones pesqueras y a la apertura de nuevos mercados como la Unión Europea y Asia. Durante los años 2000-2001, la crisis económica afectó al sector pesquero semiparalizándolo y disminuyendo de manera considerable la flota y en consecuencia las capturas. A partir del año 2002 se manifestó una recuperación del sector, lo que se refleja en el aumento de las capturas con valores aproximados a los observados para 1998. A este incremento de captura, sobre los recursos pesqueros, se adicionaron los cambios ambientales que afectaron al Mar Argentino (aumento de temperatura, cambios en la productividad fitoplanctónica y en la calidad del agua costera, pauperización de la oferta alimenticia para las especies costeras, etc.). Debido a que muchas de las especies comerciales son vulnerables a estos cambios, especialmente las costeras, deberían monitorearse exhaustivamente las mismas a fin de realizar un manejo sustentable de las pesquerías. Para ello deberían incorporarse

herramientas que mejoren: el conocimiento del recurso (identificación de stocks pesqueros, evaluaciones de biomasa precisas, etc.), la captura (aumento de la selectividad de artes de pesca, la disminución del descarte y diversificación de las pesquerías) y el producto (incorporación de valor agregado y nuevos mercados), entre otros. Estas medidas sólo pueden llevarse a cabo si se encuentran en el marco de una estrategia pesquera a mediano y largo plazo que incluya la participación de todos los sectores involucrados.

**Palabras clave:** pesquerías marinas, Argentina, cambios ambientales

## SUMMARY

The commercial marine fisheries in Argentina have evolved during the last two decades. Such evolution was mainly the local response to the higher quality and quantity requirements of European and Asian markets. This work presents the trends in the capture of main coastal and deep-sea species and the changes in the fishing fleet in the last two decades. By analyzing the data obtained, it can be concluded that main commercial species were: Pollock (*Genypterus blacodes*), anchovy (*Engraulis anchoita*), mackerel (*Scomber japonicus*), white croaker (*Micropogonias furnieri*), hake (*Merluccius hubbsi*), Patagonian grenadier (*Macruronus magellanicus*), stripped weakfish (*Cynoscion guatucupa*), (*Percophis brasiliensis*) y (*Micromesistius australis*). After analyzing the results obtained from 1992 until now, even though no big variances were observed in the tons of fish captured, two pulses can be identified. The maximum values are found in the middle years of each pulse while the minimum ones appeared at the beginning and at the end of such pulse. The results might be related to several issues: the incorporation of medium freezer vessels to the industrial fleet (booms tangones, fisherman boats using a paternoster line palangreros, poteros), the incorporation of freezer ships with well-defined processes (elaboration of surimi), the renovation of the fleet of coastal and vessels, the new fish rules and regulations and the opening up of new markets such as those of the European Community and Asia. During 2000 and 2001, the economic crisis affected the fish sector almost paralyzing its activities and considerably diminishing the fleet and, consequently, the amount of catch. From 2002 onwards, there was a recuperation of the sector which is reflected in the amount of catch which showed similar levels of those of 1998. Apart from this increase in the catch of fish resources, there were environmental changes which affected the Mar Argentino (temperature increase, changes in the phytoplankton productivity and in the quality of coastal water, impoverishment of the food offer for coastal species, etc.). As many commercial species are vulnerable to these changes, especially coastal ones, a thorough monitoring of such species should be performed in order to implement a sustainable management of fish industry. To achieve this goal, it is fundamental to add tools so as to improve several aspects: greater knowledge of the resources (identification of fish stocks, evaluations of specific biomasses, etc.), of the catch (increase in selectivity of fish methods, decrease of disposables and diversification of fish industries) and of the product (incorporation of added value and new markets), among others. Such measures can only be implemented if they are part of a comprehensive short and medium-term fishing industry strategy giving participation to all sectors involved.

**Key words:** marine fisheries, Argentina, environmental changes

## INTRODUCCIÓN

La plataforma continental argentina es uno de los ecosistemas marinos más importantes de Sudamérica y sustenta una gran diversidad de organismos, generando múltiples usos y recursos para el hombre desde tiempos prehistóricos (Scarstascini *et al.*, 2008). El aprovechamiento de los recursos marinos se ha intensificado en estos últimos 20 años, ocasionando conflictos por el acceso a los mismos. A pesar de una mejora en la regulación y definición de los derechos de pesca, la tendencia al crecimiento desmesurado de las flotas y la operatividad de nuevas técnicas de pesca han propiciado la sobreexplotación de recursos, cuyos efectos son evidentes en nuestros días (Cousseau *et al.*, 2004). Este ecosistema ha sido modificado en las últimas décadas por numerosos eventos (contaminación, eutrofización, degradación de los hábitats costeros, sobreexplotación pesquera) (Bensch *et al.*, 2008). Sumado al impacto antrópico se prevé que los efectos del cambio climático global impacten sobre el número y distribución de las especies comerciales afectando directamente la productividad de las pesquerías marinas. Recientemente Cheung *et al.*, (2009) propusieron un modelo que relaciona las condiciones oceánicas con la distribución geográfica de las especies, para predecir cambios en el potencial de captura en escenarios de emisiones altas y bajas de gases de efecto invernadero. Este tipo de modelos permitirían planificar a mediano plazo la explotación pesquera contemplando las modificaciones en los recursos ante los distintos escenarios propuestos.

En este trabajo se presenta la tendencia de incremento de las capturas de las principales especies costeras y de altura en las dos últimas décadas y las perspectivas de los mismos en los escenarios del cambio climático.

## MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de la base de datos de la Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación (SAGPyA) (<http://www.minagri.gob.ar>) se estudiaron los datos en toneladas de captura de peces óseos marinos en las dos últimas décadas (1992 a 2008); tanto para la pesca costera como la de altura. Además, se analizó la captura de las principales especies comerciales: abadejo (*Genypterus blacodes*), anchoíta (*Engraulis anchoita*), caballa (*Scomber japonicus*), corvina rubia (*Micropogonias furnieri*), merluza de cola (*Macruronus magellanicus*), merluza común (*Merluccius hubbsi*), pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*), pez palo (*Percophis brasiliensis*) y polaca (*Micromesistius australis*).

## RESULTADOS

- Tipo de pesca

Los resultados evidencian que las capturas totales desde 1992 a la actualidad, presentaron dos pulsos. El primero abarca desde el año 1992 a 2000, y el segundo de 2001 a 2008; en el primer periodo la captura fue aproximadamente un 20 % mayor que en el segundo.

Se obtuvo un máximo en el año 1997 con 742449,4 t y un mínimo en el 2000 con 348102,2 t. Para ambas décadas se observó una distribución similar en la captura, encontrando los valores máximos en los años intermedios y los mínimos al comienzo y final de dichas décadas. En particular, en el año 1997 las capturas fueron un 30 % mayor al valor medio de capturas totales para las dos décadas (Figura 1).

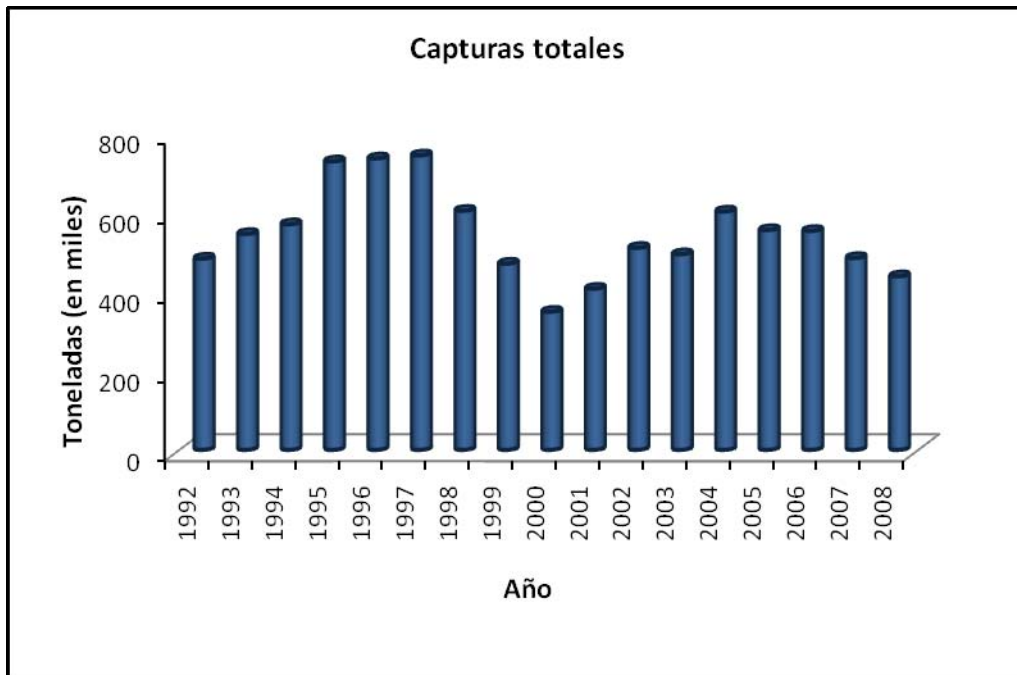


Figura 1. Capturas totales argentinas de las pesquerías en las últimas dos décadas.

Del análisis de las capturas de las pesquerías costeras surge que, desde 1992 a la actualidad, las capturas totales de este tipo presentaron dos pulsos. El primero abarca desde 1992 a 2000, mientras que el segundo abarca desde 2001 a 2008. En el primer período la captura fue aproximadamente 15 % mayor que en el segundo.

Se obtuvo un máximo en el año 1995 con 131869,2 t y un mínimo en 1998 con 47623 t. Para ambas décadas se observó una distribución similar en la captura, donde los valores máximos se encontraron en los años intermedios y los mínimos al comienzo y final de dichas décadas, excepto el año 1998, el cual presentó un mínimo antes de finalizar la primera década. En particular, en 1995 las capturas fueron un 35 % mayor al valor medio de capturas totales de pesquerías costeras para las dos décadas (Figura 2).

Las capturas de las pesquerías de altura evidencian que, desde 1992 a la actualidad, las capturas totales de este tipo presentaron dos pulsos. El primero abarca desde el año 1992 a 2000, siendo la captura en este periodo aproximadamente 17 % mayor que en el segundo.

Se obtuvo un máximo en el año 1997 con 623873,8 t y un mínimo en el año 2000 con 287459,5 t. Para ambos períodos se observó una distribución similar en la captura, donde los valores máximos se encontraron en los años intermedios y los mínimos al comienzo y final de dichos períodos. En particular, en 1997 las capturas fueron un 28.5 % mayor al valor medio de capturas totales de altura para las dos décadas (Figura 3).

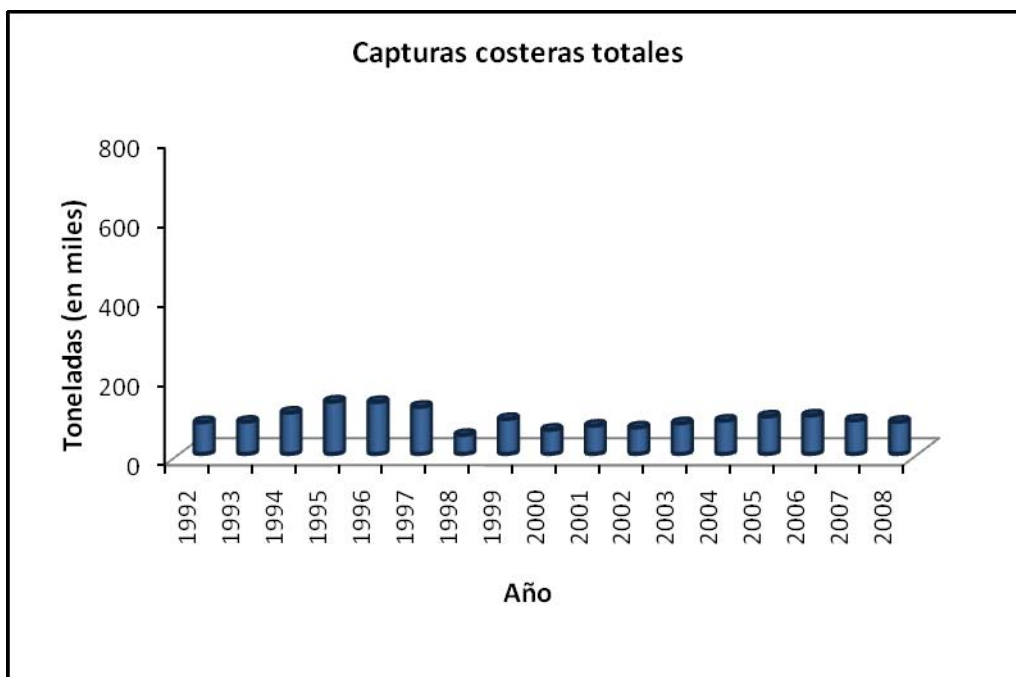


Figura 2. Capturas costeras de las pesquerías en las últimas dos décadas.

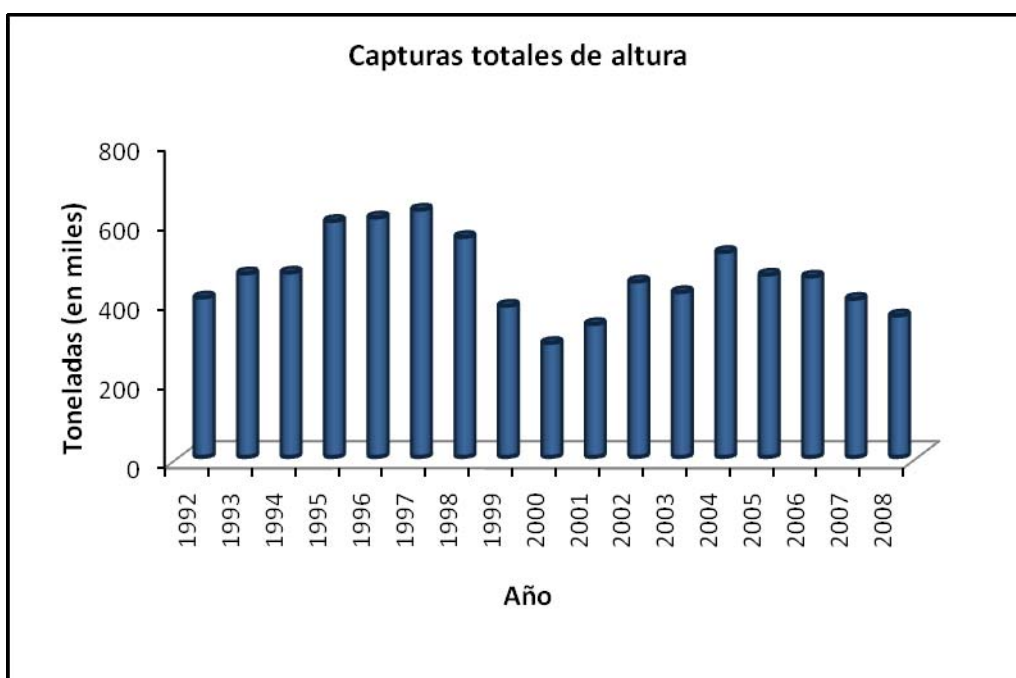


Figura 3. Capturas de altura de las pesquerías en las últimas dos décadas.

Las especies comerciales más relevantes son: el abadejo (*Genypterus blacodes*), la anchoíta (*Engraulis anchoita*), la caballa (*Scomber japonicus*), la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*), la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*), la merluza común (*Merluccius hubbsi*), la pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*), el pez palo (*Percophis brasiliensis*) y la polaca (*Micromesistius australis*).

- Especies de relevancia comercial:

- Abadejo (*Genypterus blacodes*)

Del análisis de los datos surge que, desde 1992 a la actualidad, las capturas totales del abadejo (*Genypterus blacodes*) decrecieron en más del 40 %.

Se obtuvo un máximo en el año 1993 con 26002,6 t y un mínimo en 2003 con 14601 t. Respecto al valor máximo hallado, en 1993 las capturas fueron un 23 % mayor al valor medio de capturas totales de esta especie para las dos décadas (Figura 4).

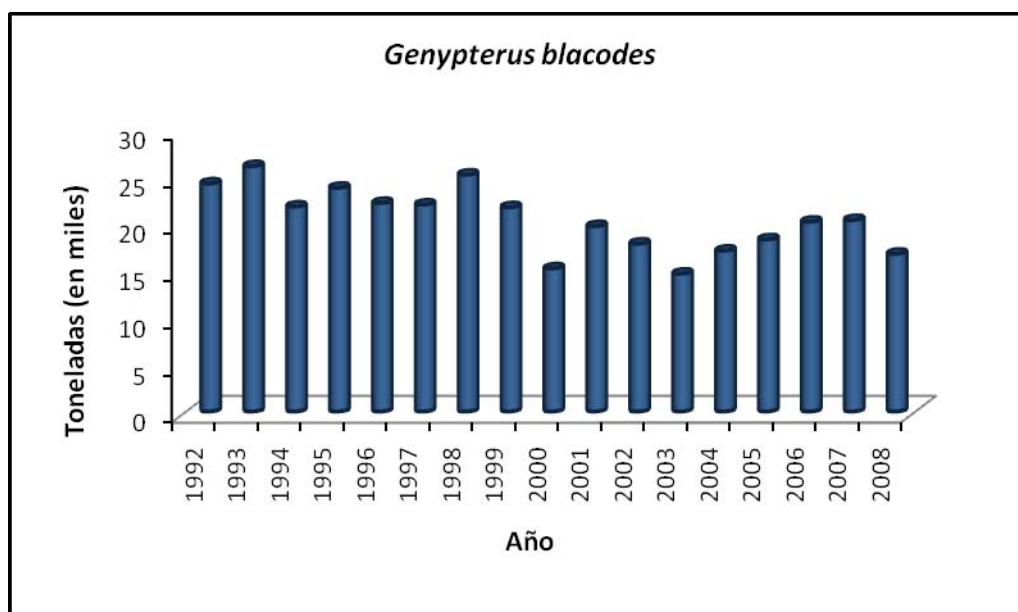


Figura 4. Capturas totales de abadejo en las últimas dos décadas.

- Anchoíta (*Engraulis anchoita*)

Del análisis de los datos surge que, desde 1992 a la actualidad, las capturas totales de esta especie decrecieron en un 30 % y presentaron dos pulsos. El primero abarca desde el año 1992 al 1999, siendo la captura en este periodo aproximadamente 21,10 % menor que en la segunda etapa.

Se obtuvo un máximo en el año 2004 con 37266,1 t y un mínimo en 1999 con 10659,1 t. En particular, en el año 2004 las capturas fueron un 41 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas (Figura 5).



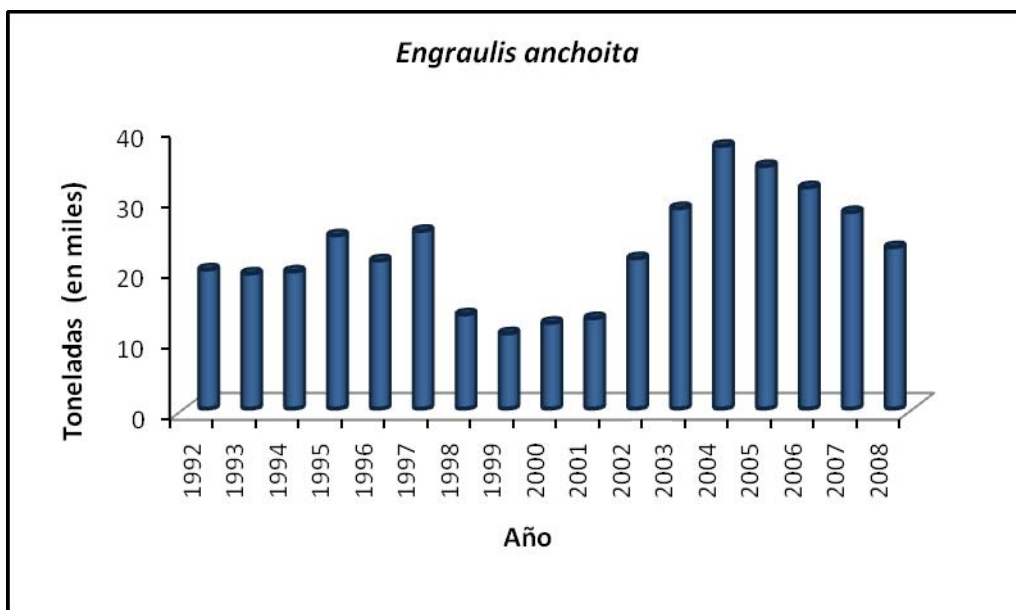


Figura 5. Capturas totales de anchoíta en las últimas dos décadas.

- Caballa (*Scomber japonicus*)

Del análisis de los datos surge que, desde 1992 a la actualidad, las capturas totales de esta especie aumentaron en más del 23 %, aunque se observa variabilidad en el total de capturas (en t) por año, a lo largo del periodo analizado.

Se obtuvieron dos máximos en los años 1995 y 2008 con 13367,8 t y 13353,9 t respectivamente, y un mínimo en 2005 con 2387,5 t. Respecto a los valores máximos hallados, las capturas fueron un 40 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas (Figura 6).

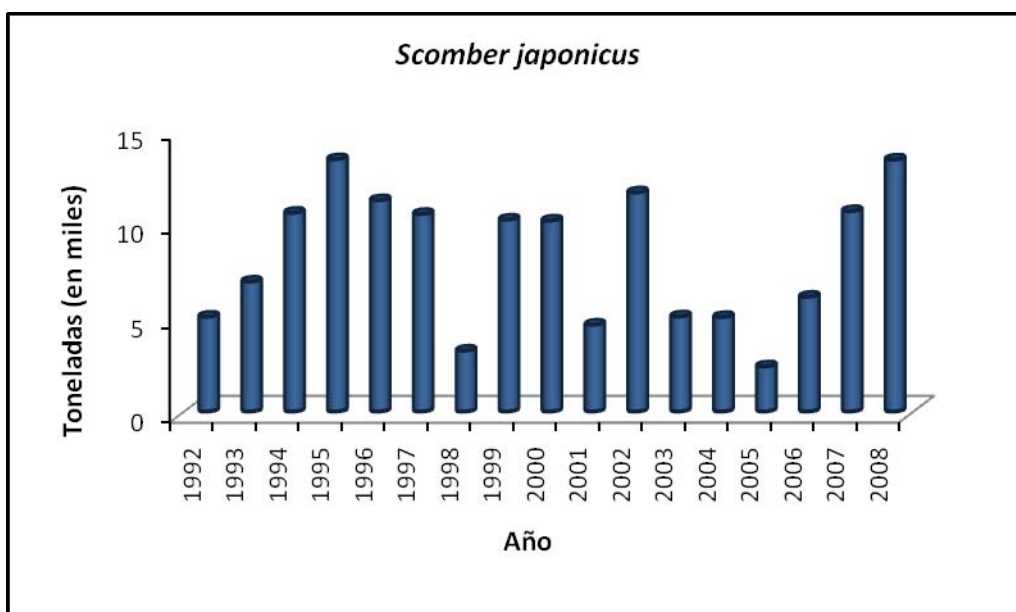


Figura 6. Capturas totales de caballa en las últimas dos décadas.

- Corvina rubia (*Micropogonias furnieri*)

Las capturas totales de la corvina rubia, desde 1992 a la actualidad, aumentaron en un 50%. Se obtuvo un máximo en el año 1995 con 29868,9 t y un periodo mínimo que abarca desde el año 1998 al 2002 con un valor aproximado de 6000 t. Respecto al valor

máximo hallado en el año 1995, las capturas fueron un 45 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas (Figura 7).

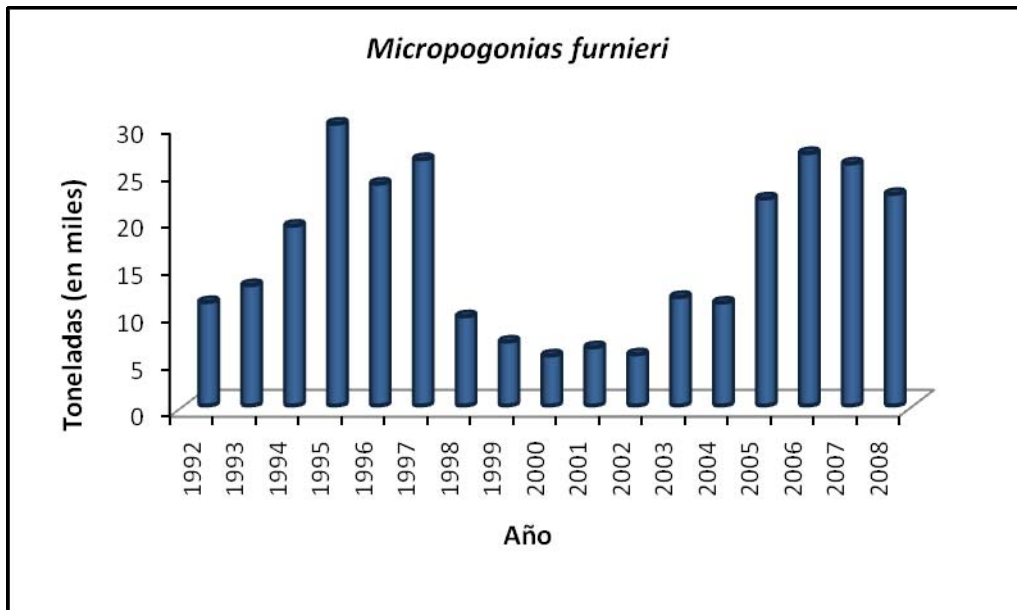


Figura 7. Capturas totales de corvina rubia en las últimas dos décadas.

- Merluza de cola (*Macruronus magellanicus*)

Las capturas de la merluza de cola aumentaron en más del 87,5 %, desde 1992 a la actualidad. Hasta el año 1997 el aumento de las capturas fue gradual, pero a partir de 1998 se triplicaron. Respecto a los valores máximos hallados, las capturas fueron un 35 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas (Figura 8).

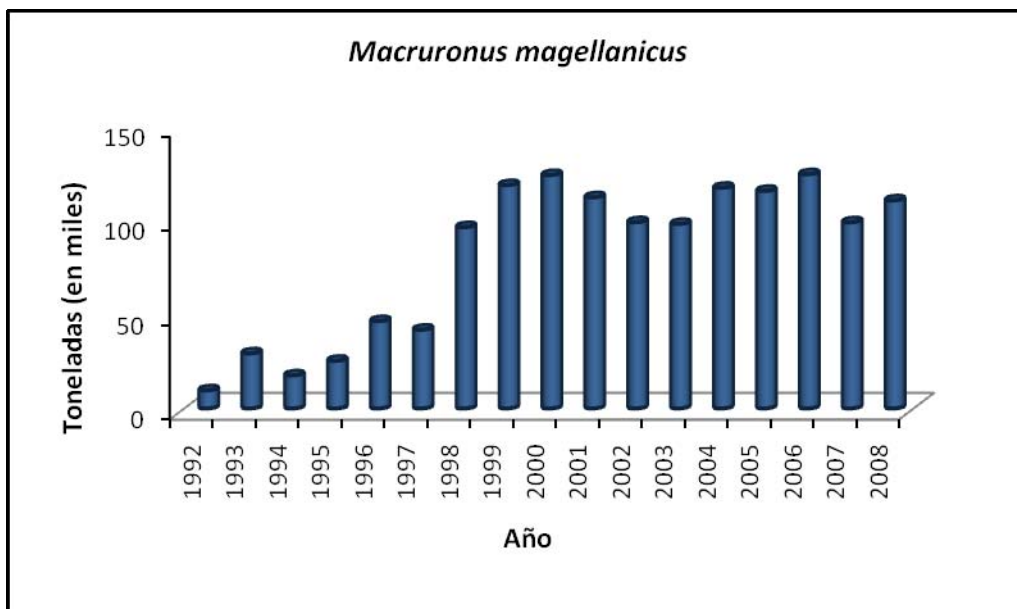


Figura 8. Capturas totales de merluza de cola en las últimas dos décadas.

- Merluza común (*Merluccius hubbsi*)

Las capturas totales para esta especie presentaron dos pulsos (Figura 9). El primero abarca desde el año 1992 al 2000, siendo la captura en este período aproximadamente un 29,8 % mayor que en la segunda etapa. Desde 1992 a la actualidad, las capturas totales de la merluza común decrecieron en un 46,8 %.

Se obtuvo un máximo en el año 1996 con 604208,7 t y un mínimo en 2000 con 193700,7 t. En particular, en 1996 las capturas fueron un 36,6 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas.

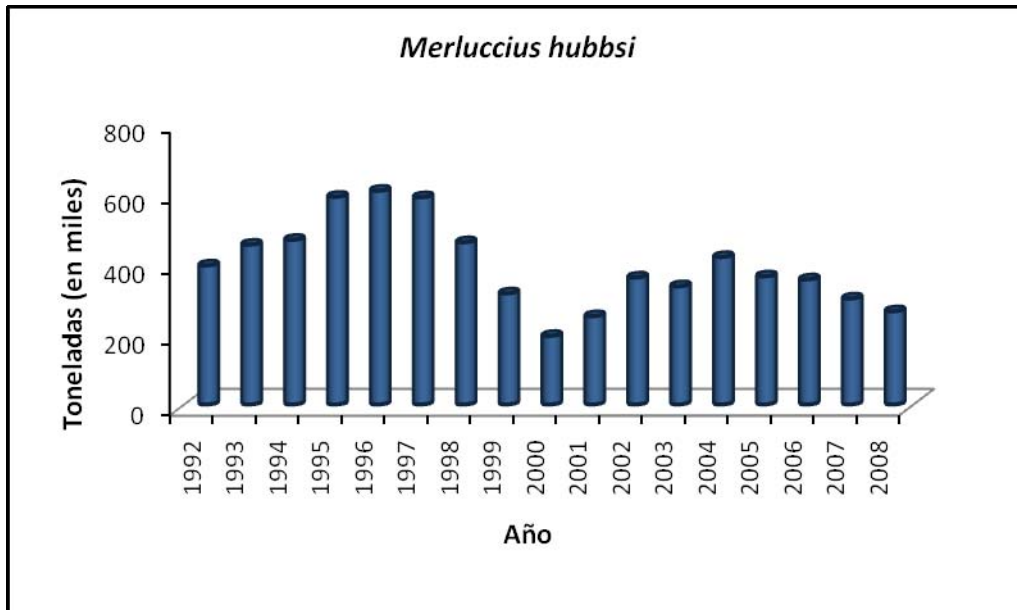


Figura 9. Capturas totales de merluza común en las últimas dos décadas.

- Pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*)

Del análisis de los datos surge que, desde 1992 a la actualidad, las capturas totales de la pescadilla aumentaron en un 4 %, aunque se observa variabilidad en el total de capturas (en t) por año, a lo largo del periodo analizado.

Se obtuvo un máximo en el año 1997 con 24132,9 t y un mínimo en 1993 con 6406,5 t. Respecto al valor máximo, las capturas fueron un 43,6 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas (Figura 10).

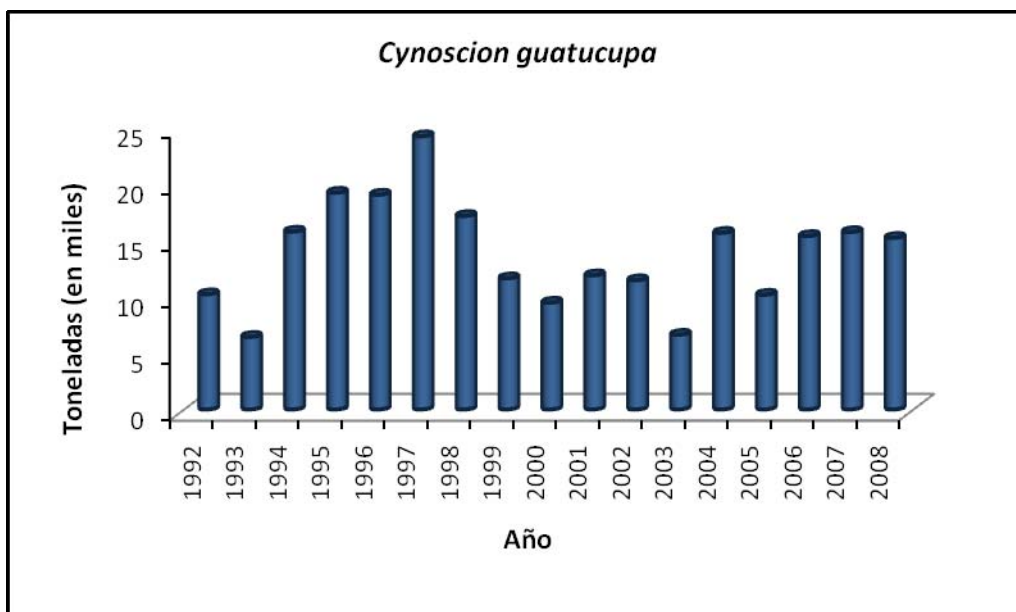


Figura 10. Capturas totales de pescadilla en las últimas dos décadas.

- Pez palo (*Percophis brasiliensis*)

El análisis de las capturas totales de esta especie presentó dos pulsos. El primero abarca desde el año 1992 al 2002, siendo la captura en este periodo aproximadamente 7 % mayor que en la segunda etapa. De este análisis surge que, desde 1992 a la actualidad, las capturas totales del pez palo aumentaron en un 17 %.

Se obtuvo un máximo en 1997 con 11475,4 t y un mínimo en 1992 con 3838,1 t. En particular, en 1997 las capturas fueron un 36 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie estudiada para las dos décadas (Figura 11).

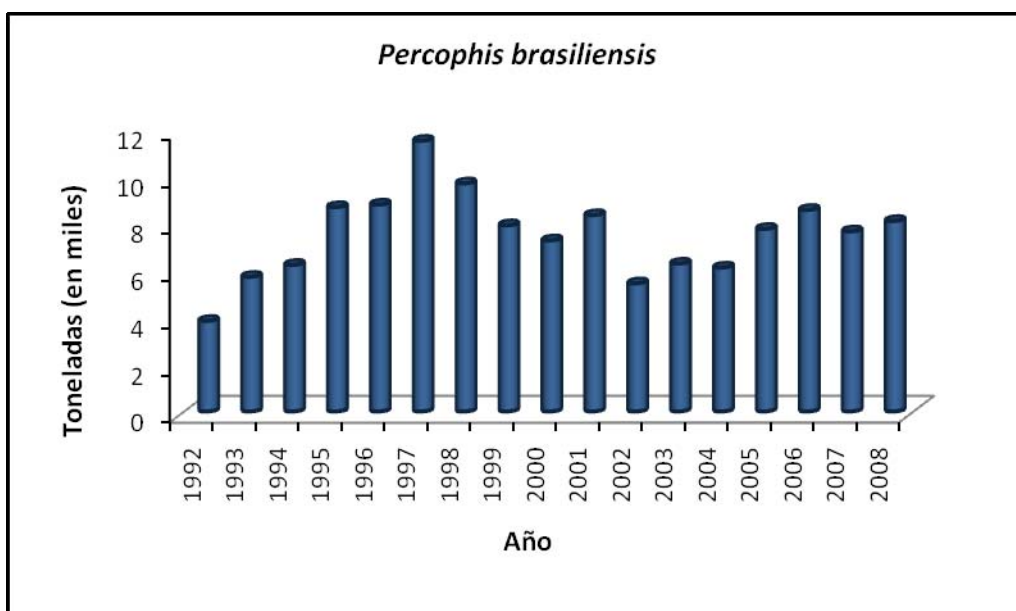


Figura 11. Capturas totales de pez palo en las últimas dos décadas.

- Polaca (*Micromesistius australis*)

Del análisis de los datos surge que, desde 1992 a la actualidad, las capturas totales de esta especie disminuyeron en más del 84,4 %.

Se obtuvo un máximo en el año 1993 con 128525,1 t y un mínimo en 2007 con 18982,2 t. Respecto al valor máximo hallado, las capturas fueron un 53,4 % mayor al valor medio de capturas totales de la especie analizada para las dos décadas. Entre 1993 y 2007 se observó una disminución gradual en la captura de la polaca (Figura 12).

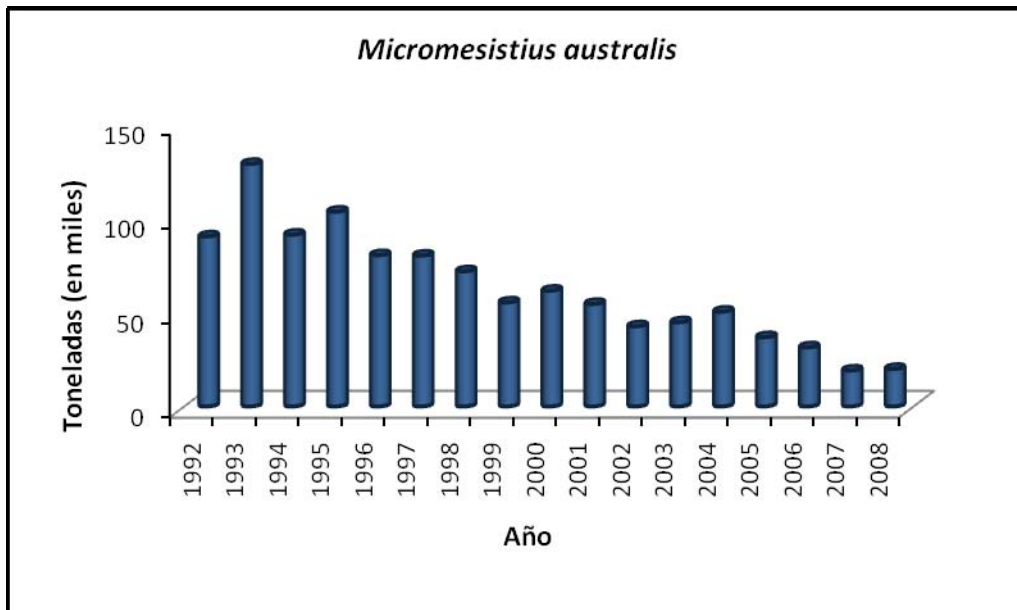


Figura 12. Capturas totales de polaca en las últimas dos décadas.

- Especies capturadas totales a lo largo de dos décadas

Del total de las capturas registradas para las últimas dos décadas se puede inferir que la especie más explotada, dentro de las especies analizadas fue la merluza común con el 63%. En segundo lugar y con un porcentaje mucho menor se encontraron la merluza de cola (13%) y la polaca (10%). Las capturas restantes (14%) correspondieron a pez palo, pescadilla, anchoíta, caballa, abadejo y corvina rubia en porcentajes similares (Figura 13)

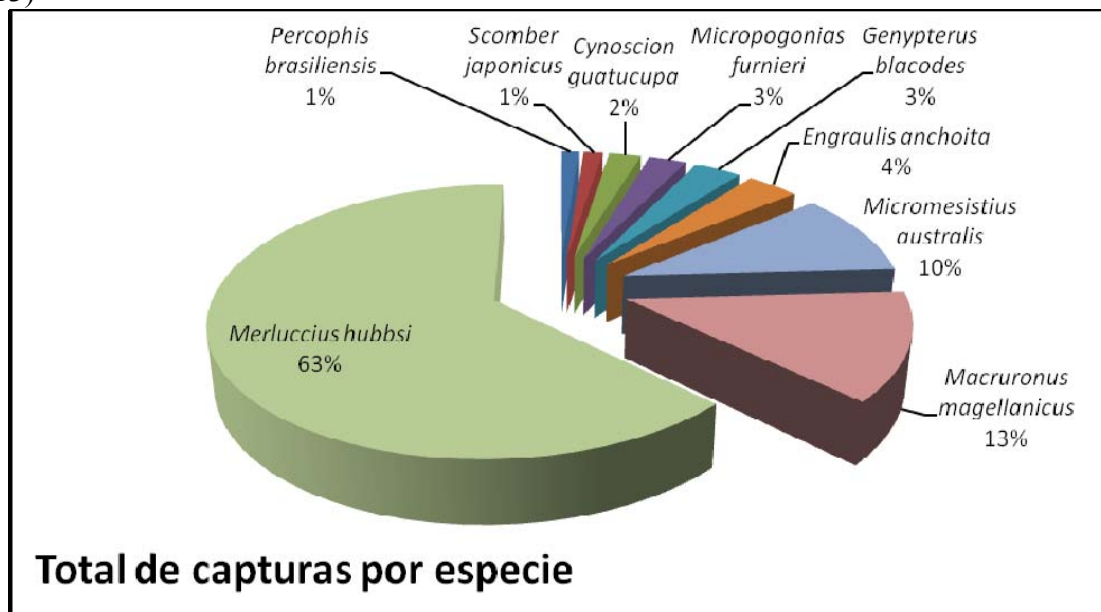


Figura 13: Porcentajes de capturas totales de las especies estudiadas en las últimas dos décadas.

Especies analizadas: *Merluccius hubbsi* (merluza común), *Macruronus magellanicus* (merluza de cola), *Micromesistius australis* (polaca), *Engraulis anchoita* (anchoíta), *Genypterus blacodes* (abadejo), *Micropogonias furnieri* (corvina rubia), *Cynoscion guatucupa* (pescadilla de red), *Scomber japonicus* (caballa) y *Percophis brasiliensis* (pez palo).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de los diferentes tipos y artes de pesca estudiados desde 1992 a 2008 mostró que las especies comerciales explotadas más importantes son especies demersales: la merluza común (*Merluccius hubbsi*), la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*) y la polaca (*Micromesistius australis*). La captura de estas especies de gádidos ha aumentado significativamente debido, probablemente, a la expansión de la flota merluquera congeladora entre los años 1992 y 1996 (Aubone *et al.*, 2004). Otros factores que han propiciado el incremento de las capturas costeras y de altura en el periodo 1992-2000, fueron la incorporación de buques congeladores medianos a la flota industrial (tangones, palangreros, poteros), la incorporación de congeladores con procesos definidos (elaboración de surimi), la renovación de la flota de buques fresqueros y costeros, las nuevas normativas y reglamentaciones pesqueras y la apertura de nuevos mercados como la Unión Europea y Asia (Carozza *et al.*, 2004).

En el período 2000-2001, la crisis económica afectó al sector pesquero semiparalizándolo y disminuyendo de manera considerable las capturas y la flota; la recuperación del mismo fue de manera paulatina. A pesar de esto, a partir del año 2005 se manifestó una recuperación del sector reflejada en el aumento de las capturas con valores aproximados a los de 1998.

Como consecuencia de un cambio en la especie objetivo, por parte de un sector de la flota que tradicionalmente faenaba merluza común (*Merluccius hubbsi*), a partir de la década del '90 aumentaron las capturas de la merluza de cola (*Macruronus magellanicus*), por parte de los barcos con bandera argentina. Asimismo, en 1995 se comenzó a observar un incremento en las capturas, pudiendo esto estar asociado a altos niveles de reclutamiento y a que la merluza de cola es fauna acompañante de la merluza común (Bezzi *et al.*, 2004). Los desembarques de merluza efectuados por todos los países que operaron sobre el recurso, se incrementaron 49% durante el periodo 1987-1997. En el año 1998 el desembarque total argentino disminuyó en 21 % debido a las paradas biológicas y a la veda para protección de juveniles en el área de crianza patagónica. La diferencia hallada entre las dos décadas se explica porque en la primera (1992-2000) el aumento en las descargas se mantuvo debido a las altas concentraciones de merluza halladas en el sur a lo largo del año y por el desarrollo de una pesquería diferencial en el sector patagónico (Bezzi *et al.*, 2004), mientras que en la segunda etapa de estudio la merluza presentó una disminución en toneladas de captura, pudiendo deberse esto a que, desde fines de la década del 90, el esfuerzo estuvo dirigido principalmente a los juveniles y con un notorio predominio de hembras. Los porcentajes de juveniles en las capturas ascendió al 70% y la tasa de mortalidad fue de 1,2 a diferencia de la década anterior que presentó valores de captura de 34% y una tasa de mortalidad entre 0,7 y 0,9 (Bezzi *et al.*, 2004). A partir de la segunda etapa, la captura en número superó ampliamente la captura en peso como consecuencia de la disminución de los porcentajes de individuos mayores de 6 años. La pesca de la merluza al norte del paralelo 41°S (flota fresquera) fue menor que la operada al sur del mismo por la flota de buques congeladores. Este hecho marcó una explotación diferencial entre ambas áreas a partir de 1995, debido a una fuerte expansión de la pesca por buques congeladores y factoría, conjuntamente con el desarrollo de los puertos patagónicos (Renzi *et al.*, 1995).

En el año 1997 se produjo la separación de áreas de operación entre los fresqueros y congeladores, dirigiéndose los últimos a mayores profundidades. En los últimos años la flota fresquera argentina operó principalmente en la plataforma patagónica; el 75% de la captura provino de ese sector (Bezzi *et al.*, 2004). Aubone *et al.*, (2004) concluyeron que los efectivos pesqueros norte y sur presentaban síntomas de excesiva explotación.

Con respecto a la polaca (*Micromesistius australis*), se observó un pico de captura en el año 1993 seguido de una disminución gradual. Esta disminución pudo deberse a que en ese año se realizó el manejo del recurso por parte de la administración pesquera argentina estableciendo para esta especie una cuota anual global de captura máxima, que surgió a partir de las recomendaciones del INIDEP basadas en la abundancia y potencial pesquero del efectivo. En los últimos estudios realizados se ha estimado que la fracción de reproductores de la población habría descendido hasta niveles próximos al límite mundialmente reconocido como sustentable en el manejo de las pesquerías (FAO, 1995, Wöhler y Hansen, 2004).

Para el caso del abadejo (*Genypterus blacodes*), el patrón de captura fue semejante al de la merluza común. Esto pudo deberse a que gran parte de los ejemplares capturados forman parte de la fauna acompañante de la merluza (aproximadamente el 50%). Por esto es muy difícil regular su captura ya que sólo el 50% restante sería pesca dirigida a este recurso. En particular en 2003 se observó una disminución en la captura, la más baja desde 1985, que podría explicarse en parte por la derivación del esfuerzo pesquero a la pesquería del langostino patagónico (Cordo, 2004).

El pez palo presenta el mismo patrón de captura que la merluza común. Esto podría deberse a que es una especie acompañante en la pesca de la merluza común.

Las especies demersales tienen mayor tradición en el consumo y exportación en Argentina que las pelágicas (anchoíta y caballa) y son las que presentan recursos disponibles para investigación. En contraposición, se carece de información sistemática de la biología de las especies pelágicas, desconociéndose su verdadero potencial (Hansen, 2004).

La anchoíta es una especie altamente fluctuante dado que presenta un ciclo vital relativamente corto, crecimiento individual rápido y su abundancia depende de forma marcada del éxito de los reclutamientos (Hansen, 2004).

Entre las especies pelágicas, a partir de 1992 se registró un aumento en la captura de la caballa, el cual superó al doble del promedio del registrado para la década del 80. Este hecho pudo deberse a que la pesca dirigida a esta especie fue realizada por barcos de mayor tamaño que los de la flota tradicional (rada o ría) (Perrota, 2004). Las variaciones observadas en el total de capturas (en t) por año, a lo largo del período analizado fueron producidas principalmente por cambios en la accesibilidad del recurso. Dado que cuando el mercado requiere pocos volúmenes de captura se produce una disminución del esfuerzo y del área de acción de la flota, se convierte en un regulador importante de la magnitud de los desembarques de la especie (Perrota, 2004).

Con respecto a las especies costeras, la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) mostró un notable incremento de su captura entre los años 1992 y 1997, lo que puede atribuirse a que la flota costera se instaló en Bahía Samborombón (Buenos Aires), en donde la especie suele concentrarse durante la temporada invernal (Lasta *et al.*, 2000). Este cambio pudo ser a causa de la apertura del mercado asiático para la especie (Carozza y Hernández, 2004). En consecuencia aumentaron abruptamente las capturas, registrándose en 1995 los máximos en la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya (ZCPAU), en el Río de la Plata y en El Rincón. En el año 1998, disminuyeron las capturas debido a las medidas de regulación impuestas, manteniéndose constantes

aproximadamente hasta 2002. En el 2003 volvieron a incrementarse las capturas desembarcadas de esta especie y el número de barcos (Carozza y Hernández, 2004).

Los desembarques argentinos de la pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*) presentaron fluctuaciones. Estas pueden deberse a cambios en la accesibilidad al recurso por parte de las diferentes flotas (Haimovici, 1997) y también al oportunismo económico de las flotas costeras. En nuestro país, en el año 1997 se alcanzó un máximo en los desembarques y a partir de este año, comenzó a descender hasta el año 2003. Los desembarques provienen en forma mayoritaria de las dos grandes áreas de pesca ya mencionadas, la ZCPAU y El Rincón (Ruarte y Aubone, 2004).

La explotación de los recursos pesqueros argentinos se ha incrementado en las últimas dos décadas. Además este ambiente ha sufrido cambios ambientales (aumento de temperatura, cambios en la productividad fitoplanctónica y en la calidad del agua costera, pauperización de la oferta alimenticia para las especies costeras, variaciones dependientes de los fenómenos de El Niño y La Niña). Estos factores podrían aumentar la vulnerabilidad de las principales especies comerciales, especialmente las especies costeras. Por lo que sería fundamental monitorear exhaustivamente los stocks pesqueros de las especies comerciales y su relación con los factores ambientales. Esto permitirá realizar un manejo sustentable de las pesquerías en las nuevas condiciones ambientales, incorporando herramientas que mejoren: el conocimiento del recurso (identificación de stocks pesqueros, evaluaciones de biomasa precisas), la captura (aumento de la selectividad de artes de pesca, la disminución del descarte, diversificación de las pesquerías) y el producto (incorporación de valor agregado, nuevos mercados), entre otros. Estas medidas sólo pueden llevarse a cabo si están enmarcadas en una estrategia pesquera a mediano y largo plazo que incluya la participación de todos los sectores involucrados.

## BIBLIOGRAFÍA

- AUBONE, A.; BEZZI, S.I.; CAÑETE, G.; CASTRUCCI, R.; DATO, C.; IRUSTA, G.; MADIROLAS, A.; PÉREZ, M.; RENZI, M.; SANTOS, B.; SIMONAZZI, M. y VILLARINO, M.F. 2004. [Evaluación y sugerencias de manejo del recurso merluza (*Merluccius hubbsi*). La situación hasta 1999. 207-235 pp En: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- BENSCH, A; GIANNI, M.; GRÉBOVAL, D.; SANDERS, J.S. and HJORT, A. 2008. Worldwide review of bottom fisheries in the high seas. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper: 522. FAO, Rome.
- BEZZI, S.I.; RENZI, M.; IRUSTA, G.; SANTOS, B.; TRINGALI, L.; EHRLICH, M.; SÁNCHEZ, F.; GARCÍA DE LA ROSA, S.; SIMONAZZI, M. y CASTRUCCI, R. 2004. Caracterización biológica y pesquera de la merluza (*Merluccius hubbsi*) pp 157-206 en: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- CAROZZA, C.; HERNANDEZ, D.R. y PERROTA, R.G. 2004. Evaluación de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) en el área del Río de la Plata y Zona Común de Pesca argentino-uruguayana por medio de un modelo de dinámica de biomasa. Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero, 16: 77-90.
- CORDO, H.D. 2004. Abadejo (*Genypterus blacodes*). Caracterización biológica y estado del recurso pp: 237-254. En: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y



- evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- COUSSEAU, M.B.; GOSZTONYI, A.E.; ELIAS, I. y RE. M.E., 2004. Estado Actual del conocimiento de los peces de la plataforma continental argentina y adyacencias. pp 17-38. En: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- CHEUNG, W.W.L.; LAM, V.W.Y.; SARMIENTO, J.L.; KEARNEY, K.; WATSON, R.; ZELLER, D. and PAUL, D. 2009. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*. DOI 10.1111/j.1365-2486.2009.01995.
- FAO., 1995. Review of the state of the world fishery resources: marine fisheries. Circular FAO Fisheries, 884: 105pp.
- HAIMOVICI, M. 1997. Recursos pesqueiros demersais da regio sul. Fundação de estudos do Mar, Río de Janeiro, 80 pp.
- HANSEN, J. 2004. Anchoíta (*Engraulis anchoíta*). pp 101-115. En: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- LASTA, C.; CAROZZA, C.; SUQUELLE, P.; BREMEC, C.; ERRASTI, E.; PERROTTA, R.; BERTELO, C. y BOCANFUSSO, J. 2000. Característica y dinámica de la explotación de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) durante la zafra invernal. Años 1995 y 1997. INIDEP Inf. Téc.:36, 141pp.
- PERROTTA, R. 2004. Caballa (*Scomber japonicus*). pp 117-126. En: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4 (Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación). Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- RENZI, M.; PÉREZ, M. y S. BEZZI., 1995. Resultados del análisis de poblaciones virtuales y proyecciones de captura para 1996 correspondientes a las poblaciones de merluza. Inf. Téc. Int. DNI-INIDEP: 20/95, 10 pp.
- RUARTE, C. y AUBONE, A., 2004. La pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*), análisis de su explotación y sugerencias de manejo para el año 2004. Inf. Téc. Int. DNI-INIDEP: 54/2004, 16 pp.
- SCARTASCINI, F.L.; CHARO, M. y VOLPEDO, A.V. 2008. Caracterización de las estrategias de obtención de recursos ícticos a partir del análisis de otolitos. El caso de la costa norte del Golfo San Matías (Río Negro). VII Jornadas de Arqueología de la Patagonia, Ushuaia.
- WÖHLER, O. y HANSEN, J. 2004. Estandarización de las series de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de polaca (*Micromesistius australis*) de los buques surimeros argentinos en el periodo 1992-2003. Inf. Téc. Int. DNI-INIDEP: 31/05, 11 pp.



# CINÉTICA DEL METABOLISMO OXIDATIVO EN PULMÓN POR EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES AMBIENTALES.

*Time course study of the oxidative metabolism in lung mice after exposure to ambient particles.*

Natalia Magnani<sup>1</sup>; Timoteo Marchini<sup>1</sup>; Débora Tasat<sup>2</sup>; Silvia Alvarez<sup>1</sup> y Pablo Evelson\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>- Cátedra de Química General e Inorgánica, Facultad de Farmacia y Bioquímica, PRALIB-CONICET. Universidad de Buenos Aires. Junín 956 (1113) Buenos Aires. Argentina.

<sup>2</sup>- Cátedra de Histología y Embriología Humana, Facultad de Odontología.  
\* pevelson@ffyba.uba.ar

## RESUMEN

Los niveles de contaminantes atmosféricos en grandes urbes provocarían un aumento en la ocurrencia de diversas enfermedades, principalmente respiratorias como asma, bronquitis y otras alteraciones inmunológicas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la cinética del metabolismo oxidativo en pulmón de ratones expuestos a partículas ambientales. Se utilizó un modelo de exposición aguda mediante instilación intranasal (ROFA; 0.20 mg/kg peso). Las medidas se realizaron a una y tres horas luego de la instilación. La exposición a las partículas produjo aumentos en el consumo de oxígeno tisular del 77% luego de 1 h y del 23% a las 3 hs (control:  $225 \pm 7$  ng-at O/min g tejido;  $p < 0.01$ ). La producción de óxido nítrico en homogeneizados aumentó un 44% a las 3 hs (control:  $0.74 \pm 0.03$  nmol NO/min mg prot;  $p < 0.01$ ). El contenido de TBARS se incrementó un 24% a 1 h (control  $249 \pm 6$  pmol/mg prot;  $p < 0.01$ ), mientras que el contenido de carbonilos aumentó un 26% luego de 3 hs (control  $2.3 \pm 0.1$  nmol/mg prot;  $p < 0.01$ ). Con respecto a las enzimas antioxidantes, la actividad de superóxido dismutasa mostró un aumento del 26% a las 3 hs (control  $4.3 \pm 0.2$  USOD/mg prot;  $p < 0.01$ ), mientras que la catalasa no presentó diferencias. La capacidad antioxidante del tejido disminuyó un 36% a las 3 hs (control:  $15 \pm 1$   $\mu$ M Trolox/mg prot.,  $p < 0.01$ ). Los resultados obtenidos muestran un aumento en el metabolismo oxidativo del pulmón que desencadenaría diferentes mecanismos moleculares de daño tisular.

**Palabras clave:** *contaminación ambiental; metabolismo oxidativo; pulmón.*

## SUMMARY

The levels of air pollutants in big cities would lead to an increased occurrence of various diseases, mainly respiratory and asthma, bronchitis and other immunological disorders. The aim of this work is to study the time course of oxidative metabolism in lung mice after exposure to ambient particles. The experimental model was an acute exposure to particulate matter. Swiss mice were intranasally instilled (0.20 mg/kg body weight). Instillation with ROFA increased oxygen consumption by tissue cubes by 77% in lung after 1 h of exposure and by 23% after 3 h (control value:  $225 \pm 7$  ng-at O/min mg tissue;  $p < 0.01$ ). The production of nitric oxide by lung homogenates was significantly increased, by 44% (control value:  $0.74 \pm 0.03$  nmol NO/min mg prot;  $p < 0.01$ ) after 3 hs of exposure. TBARS levels in lung homogenates from animals instilled with ROFA showed a 29% increase after 1 h of exposure (control value:  $249 \pm 6$  pmol/mg prot;  $p < 0.01$ ), while a 26% increase in the carbonyl content was found after

3hs (control value:  $2.3 \pm 0.1$  pmol/mg prot;  $p < 0.01$ ). A significant increase in superoxide dismutase activity by 26% was found in lung homogenates after 3 hs of exposure (control value:  $4.3 \pm 0.2$  U SOD/mg prot;  $p < 0.01$ ), whereas catalase activity was not affected. Total reactive antioxidant potential values from lung homogenates after 3 hs of exposure were significantly lower, by 36%, than that obtained from control group (control:  $15 \pm 1$   $\mu$ M Trolox/mg prot.,  $p < 0.01$ ). Results show an increase in the oxidative metabolism in the lung that might trigger different mechanisms of tissue injury.

**Key words:** air pollution; oxidative metabolism; lung

## INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud estima que la contaminación ambiental es responsable de al menos 3 millones de muertes prematuras cada año (Hoeck, 2001). Esta observación tiene particular importancia en los países emergentes que poseen economías en crecimiento, en los cuales las concentraciones de contaminantes ambientales han aumentado en forma consistente en los últimos años (Ware *et al.*, 2000).

En el último siglo, la incidencia de afecciones cardiorrespiratorias ha aumentado significativamente en la población como consecuencia de la industrialización, el incremento del parque automotor y hábitos como el fumar (Rusznak *et al.*, 1998). La contribución de contaminantes aéreos, generados como productos de la industrialización, ha sido atribuida tanto al material particulado en suspensión como a diversos gases (Nel *et al.*, 1998).

La contaminación ambiental está relacionada con el clima directa e indirectamente. El cambio climático puede afectar las exposiciones a los contaminantes ambientales de diferentes maneras: *a*) afectando el clima y por lo tanto, las concentraciones de los contaminantes locales y regionales, *b*) afectando las emisiones antropogénicas, que incluyen las respuestas adaptativas que involucran al incremento del uso de combustibles fósiles para la generación de energía, *c*) afectando las fuentes naturales de las emisiones de contaminantes y *d*) cambiando la distribución y los tipos de alérgenos del aire. Por otro lado, los patrones de clima locales influyen las reacciones químicas atmosféricas y pueden afectar los procesos de transporte en la atmósfera y la velocidad con la cual los contaminantes se distribuyen desde áreas urbanas a toda la región. Además, la composición química de la atmósfera puede influir directamente en el clima local. El material particulado podría inducir efectos adversos sobre la salud mediante procesos inflamatorios y estrés oxidativo.

Estudios epidemiológicos muestran un aumento en la morbilidad y mortalidad por diversas afecciones cardiorrespiratorias, asociadas a variaciones en la concentración de varios tipos de partículas ambientales en suspensión (Handzel, 2000 y Peden, 2001), especialmente en el caso de individuos susceptibles como niños, ancianos y personas con enfermedades cardíacas o respiratorias previas (Ostachuck *et al.*, 2008).

Los mecanismos mediante los cuales la exposición a partículas ambientales produce efectos deletéreos sobre la salud se encuentran bajo una investigación activa pero permanecen aún sin definir. Se acepta que las especies activas del oxígeno y del nitrógeno están involucradas en la respuesta inflamatoria inducida por el material particulado. Existe distinto tipo de evidencia experimental sobre su participación y de la ocurrencia de estrés oxidativo que se inicia en dicho proceso (Evelson *et al.*, 2008). El estrés oxidativo, definido como una situación de desequilibrio donde un exceso en la producción de oxidantes o una disminución en los niveles de antioxidantes, lleva a daño

celular y ha sido ampliamente reconocido como causa en procesos neurodegenerativos, inflamación y envejecimiento (Sies, 1985). En este sentido, se han estudiado las propiedades oxidantes *per se* que poseen las partículas ambientales (Hatzis *et al.*, 2006); los efectos oxidantes *in vitro* del material particulado sobre las células que participan en la respuesta inflamatoria (Fubini *et al.*, 2004) y los efectos proinflamatorios dependientes de oxidantes *in vivo* de las partículas ambientales (Rhoden *et al.*, 2004). Es por ello que el objetivo de este trabajo ha sido establecer la cinética del metabolismo oxidativo en el tejido pulmonar luego de la exposición a contaminantes ambientales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Modelo experimental**

Ratones hembras de la cepa Swiss de 20-25 g fueron expuestos a partículas ambientales concentradas derivadas de la combustión del petróleo (ROFA, 0.2 mg/kg peso) (Ghio *et al.*, 2001) por un período variable de 1 a 3 horas (considerada como una exposición aguda). El tratamiento se realizó mediante una instilación nasal (Álvarez y Evelson, 2007), donde al animal levemente anestesiado se le colocan 50  $\mu$ L de una suspensión de las partículas en solución fisiológica en la cavidad nasal. El reflejo generado por la presencia de líquido en dicha cavidad provoca un movimiento inspiratorio que lleva a la inhalación de la solución en el 90% de los casos. A los animales control se les realizó el mismo procedimiento con solución fisiológica únicamente.

### **Medida del consumo de oxígeno en cortes de tejido**

La determinación de la velocidad del consumo de oxígeno se realizó mediante una técnica polarográfica, utilizando un electrodo de oxígeno tipo Clark. Las medidas se realizaron en un medio de reacción compuesto por buffer Krebs (NaCl 117.5 mM, KCl 4.7 mM,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  1.2 mM,  $\text{MgSO}_4$  1.18 mM,  $\text{CaCl}_2$  2.5 mM,  $\text{NaHCO}_3$  25 mM, Glucosa 5.5 mM, pH 7.4), a 30° C con agitación continua. La velocidad del consumo de oxígeno se obtuvo a partir la variación de la concentración de oxígeno en la cámara de reacción en función del tiempo, al introducir en la misma cubos de 1  $\text{mm}^3$  de tejido cardíaco. Los resultados obtenidos fueron expresados como ng-át de O/min g tejido (Estabrook, 1967).

### **Preparación de homogeneizados**

Luego de sacrificar a los animales, se les extrajo el pulmón (0.2 g) y se prepararon los homogeneizados en 5 volúmenes de buffer fosfato 30 mM, KCl 120 mM (pH 7.4) a 0-4° C. La suspensión resultante se centrifugó a 600 g durante 10 minutos para descartar los núcleos y restos celulares. El sobrenadante de dicha centrifugación se denomina “homogeneizado” (Evelson y González Flecha, 2000).

### **Determinación de la producción de óxido nítrico.**

La producción de NO se evaluó en homogeneizados de tejidos mediante una técnica espectrofotométrica. La cinética de oxidación de la oxihemoglobina se determinó a 577-591 nm ( $\epsilon = 11.2 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) a 30 °C y los cambios de absorbancia se expresan como nmol NO/ min. mg prot (Boveris *et al.*, 2002).

### **Determinación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS)**

Los TBARS se determinaron en homogeneizados de tejidos usando un método fluorométrico. A 1 mL de homogeneizado se le agrego butilhidroxitolueno (BHT) hasta una concentración final de 0.1% (P/V) y luego HCl 0.1 N, ácido fosfotúngstico 10%

(P/V) y ácido 2-tiobarbitúrico 0.7% (P/V). La mezcla se calentó durante 60 minutos en agua a ebullición. Posteriormente, los TBARS se extrajeron en 5 mL de n-butanol. Se realizó una breve centrifugación para separar las fases (butanólica y acuosa) y se midió la fluorescencia de la capa butanólica a 515-553 nm ( $\lambda_{exc}$ - $\lambda_{em}$ ). La concentración de TBARS se calculó a partir de una curva de calibración realizada con una solución patrón de 1,1,3,3-tetrametoxipropano. Los resultados se expresaron en nmol/ mg proteína (Yagi, 1976).

#### **Determinación del contenido de carbonilos**

La medida se utilizó como un marcador de la oxidación de proteínas. Los homogeneizados de tejido se incubaron con 2,4 dinitrofenilhidracina (DNPH 10 mM) durante 1h a temperatura ambiente y en oscuridad. Luego se agregó a las muestras ácido tricloroacético (TCA) 20% P/V, las cuales se incubaron en hielo durante 10 min y se centrifugaron durante 5 min a 1000 g para recolectar los precipitados proteicos. Los precipitados se lavaron una vez con TCA 10% P/V y luego 3 veces con una mezcla etanol: acetato de etilo (1:1). Los precipitados lavados se disolvieron en una solución de guanidina 6 M a 37 °C durante 10 min y se midió la absorbancia de las muestras a 360 nm ( $\epsilon = 0,022 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ). Los resultados se expresaron en nmol carbonilos/mg proteína (Reznick y Packer, 1994).

#### **Actividad de las enzimas antioxidantes**

(a) Catalasa: Esta enzima descompone  $\text{H}_2\text{O}_2$  en  $\text{O}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  en ausencia de dadores de hidrógeno. Su actividad se determinó en una espectrofotómetro UV-vis Jasco registrando el consumo de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a 240 nm ( $\epsilon = 40 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) en un medio conteniendo buffer fosfato 50 mM (pH 7.0) y  $\text{H}_2\text{O}_2$  10 mM. La actividad se expresó como pmol de catalasa/mg proteína. (Chance, 1954).

(b) Superóxido dismutasa: La actividad de superóxido dismutasa se determinó espectrofotométricamente determinando la inhibición de la velocidad de formación del adrenocromo a 480 nm (Misra y Fridovich, 1972) en un espectrofotómetro UV-vis Jasco. La determinación se llevó a cabo en un medio de reacción conteniendo epinefrina 1 mM, glicina-NaOH 50 mM (pH 10.0).

#### **Determinación de la capacidad antioxidante total.**

La determinación de la capacidad antioxidante total consiste en medir la capacidad atrapadora de radicales libres de una muestra en un sistema que está formado por el 2,2'-azo-bis-amidinopropano (ABAP) y el luminol. El sistema ABAP-luminol genera una emisión de luz constante, que puede medirse en un luminómetro. Al agregar una muestra que contiene antioxidantes, la quimioluminiscencia disminuye hasta niveles basales. Cuando los antioxidantes presentes en la muestra se consumen, la emisión retorna a los valores de luminiscencia originales. El tiempo que tarda en retornar a la emisión original (tiempo de inducción,  $\tau_i$ ) es directamente proporcional a la cantidad de antioxidantes presentes en la muestra. Para la medida se determinó, como primer paso, la luminiscencia del sistema ABAP-luminol. Luego de obtener una lectura constante, se agregó una determinada cantidad de homogeneizado de tejido. Se midió la emisión y se determinó el tiempo de inducción,  $\tau_i$  para cada muestra. La curva de calibración se realiza con Trolox 150  $\mu\text{M}$  (análogo hidrosoluble de la vitamina E). Los resultados están expresados en  $\mu\text{M}$  de unidades Trolox. Se define una unidad como la cantidad de antioxidante equivalente a 1  $\mu\text{M}$  de Trolox (Evelson *et al.*, 2001).

## Concentración de proteínas

La concentración de proteínas fue determinada espectrofotométricamente por el método de Lowry (Lowry, 1951), utilizando albúmina de suero bovino como estándar.

## Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como valor medio  $\pm$  SEM, y representan la media de al menos cuatro experimentos independientes. ANOVA seguido del test de Dunnet se utilizó para analizar las diferencias entre valores de más de dos grupos. Se consideraron diferencias significativas a partir de  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS

### Análisis del metabolismo oxidativo.

Se estudiaron los cambios en el metabolismo oxidativo del pulmón, mediante el consumo de oxígeno en tejido y la producción de óxido nítrico.

La exposición a las partículas produjo aumentos significativos en el consumo de oxígeno de tejido del 77% luego de 1 hora y del 23% a las 3 horas (control:  $225 \pm 7$  ng-at O/min. g tejido,  $p < 0.01$ ). En cuanto a la producción de NO en homogeneizados se observó un aumento significativo a las 3 horas (control:  $0.74 \pm 0.03$  nmol NO/min mg prot; ROFA 3 horas  $1.1 \pm 0.1$  nmol NO/min mg prot;  $p < 0.01$ ). (Figura. 1)

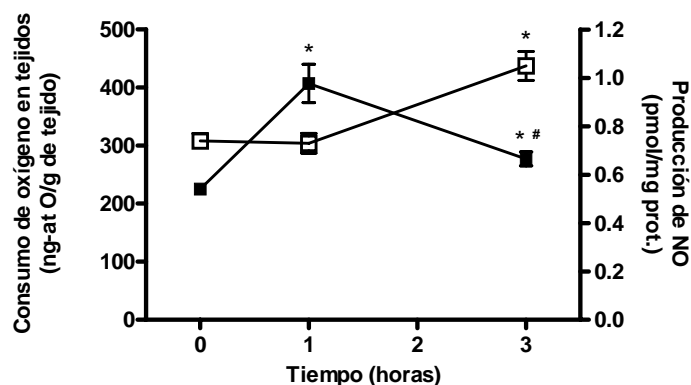


Figura 1: Consumo de oxígeno de tejido ( $\square$ ) y producción de NO en homogeneizado de pulmón ( $\blacksquare$ ) luego de la exposición a ROFA. \*  $p < 0,005$  vs control; # \*  $p < 0,005$  vs 1 hora.

### Evaluación de la actividad de enzimas antioxidantes.

Con respecto a los niveles de las defensas antioxidantes, la actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD) mostró un aumento significativo a las 3 horas (control  $4.3 \pm 0.2$  USOD/mg prot; ROFA 3 horas  $5.4 \pm 0.3$  USOD/mg prot;  $p < 0.01$ ). La actividad de catalasa de ambos tiempos no presentó diferencias significativas. Los valores de TRAP mostraron una disminución del 36% a las 3 horas (control:  $15 \pm 1$   $\mu$ M Trolox/mg prot.,  $p < 0.01$ ). (Tabla 1).

Tabla 1. Actividad de las enzimas antioxidantes, superóxido dismutasa (SOD) y catalasa; y niveles de TRAP en homogeneizados de pulmón de ratones expuestos a ROFA. \*  $p < 0.005$  vs control.

	Control	ROFA1 hr	ROFA3 hr
<b>SOD</b> (USOD/mg prot.)	4,3 ± 0,2	4,8 ± 0,3	5,4 ± 0,3*
<b>Catalasa</b> (pmoles/mg prot.)	1,05 ± 0,05	0,90 ± 0,15	0,96 ± 0,08
<b>TRAP</b> ( $\mu$ M Trolox/mg prot.)	14,8 ± 1,0	16,8 ± 1,2	9,4 ± 1,2*

### Estudio del daño oxidativo a macromoléculas.

Para los estudios de daño a macromoléculas se analizaron lípidos (contenido de TBARS) y proteínas (contenido de carbonilos). Los resultados observados en estos ensayos estarían relacionados con diferencias en la cinética de daño a lípidos y proteínas, ya que, se observó un aumento del 24% en los niveles de TBARS a corto plazo (grupo control:  $249 \pm 6$  pmol/mg prot.;  $p < 0.01$ ) (Fig. 2), en tanto que el contenido de carbonilos mostró un aumento del 26% 3 horas luego de la exposición (control  $2.3 \pm 0.1$  nmol/mg prot.;  $p < 0.01$ ) (Fig. 3). La generación de especies oxidantes junto con la disminución en los niveles de defensas antioxidantes sugiere la ocurrencia de estrés oxidativo moderado, lo que generaría el daño a macromoléculas.

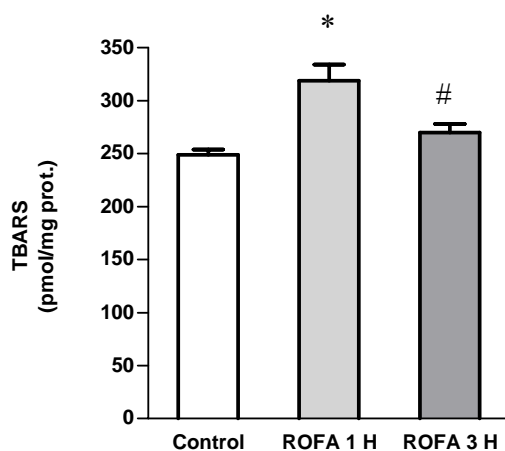


Figura 2. Niveles de TBARS en homogeneizados de pulmón luego de la exposición a ROFA. \*  $p < 0,005$  vs control; #,\*  $p < 0,005$  vs 1 hora.



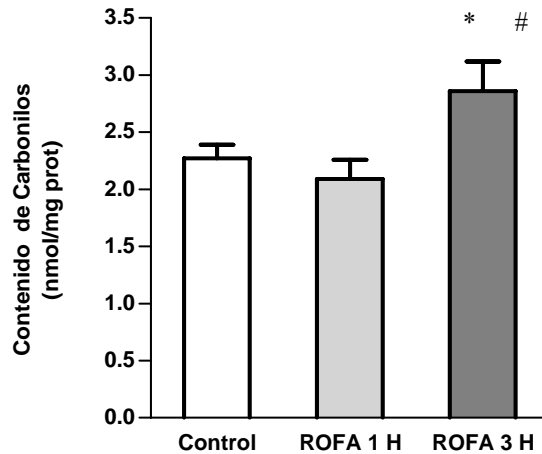


Figura 3. Contenido de Carbonilos en homogeneizados de pulmón luego de la exposición a ROFA. \*  $p < 0,005$  vs control; #, \*  $p < 0,005$  vs 1 hora.

## DISCUSIÓN

Los efectos adversos de la contaminación ambiental sobre el sistema respiratorio han sido establecidos en numerosos estudios epidemiológicos. Aún en los casos de exposiciones cortas a diversos contaminantes ambientales, se han registrado marcados aumentos en la morbilidad y mortalidad asociadas al sistema cardiorrespiratorio (Mann *et al.*, 2002). Las evidencias existentes son muy consistentes y sostienen la hipótesis de que la contaminación ambiental, especialmente la producida por el tráfico vehicular, produce enfermedades cardiorrespiratorias. Sin embargo, los datos que proveen estos estudios epidemiológicos son limitados debido a que no definen los mecanismos por los cuales la polución media los efectos adversos observados.

La inhalación de contaminantes particulados produce una respuesta inflamatoria en el pulmón. La activación de células inflamatorias promueve la liberación de citoquinas y otros mediadores que, junto con diversos metales (como Fe, Va, Mn, Co, Ni y Cu) y compuestos orgánicos (por ejemplo, hidrocarburos aromáticos policíclicos, PHAs) que forman parte de las partículas estudiadas (Li *et al.*, 2003). Esto provocaría un aumento en la producción de especies activas del oxígeno y del nitrógeno por distintos mecanismos.

Los residuos inorgánicos derivados de la combustión incompleta del petróleo contribuyen significativamente a la fracción particulada de los contaminantes ambientales. En este estudio se utilizaron “*residual oil fly ashes*” (ROFA, por sus siglas en inglés) para evaluar los efectos del material particulado en el pulmón. Dada la composición única de las estas partículas, especialmente ricas en metales, han sido ampliamente utilizadas como modelo de contaminante ambiental particulado en numerosos estudios biológicos. Trabajos previos sugieren que otros tipos de partículas ambientales siguen un mecanismo de acción similar al de ROFA, involucrando reacciones de fosforilación intracelular, activación de factores de transcripción, inducción de la expresión de mediadores inflamatorios, daño inflamatorio, entre otros (Ghio, 2002).

En condiciones fisiológicas, la mitocondria es responsable del 90% del oxígeno consumido por un tejido. La determinación del consumo de oxígeno en cortes de tejido puede considerarse como un primer acercamiento para evaluar la ocurrencia de alteraciones mitocondriales. El aumento del consumo de oxígeno observado en los animales expuestos a ROFA 1 y 3 horas luego del tratamiento podría deberse a alguna alteración a nivel de la cadena respiratoria mitocondrial, aunque tampoco deberían descartarse

otros sistemas que pueden contribuir a este aumento, como la actividad de la enzima NADPH oxidasa. Dicha alteración parecería ser reversible dado que, luego del marcado aumento observado luego de una hora de tratamiento, los niveles del consumo de oxígeno del tejido muestran una tendencia a retornar a los valores correspondientes para los animales control a las tres horas posteriores a la instilación.

El NO es un regulador fisiológico de la cadena respiratoria a varios niveles. Es sintetizado en células de mamíferos a través de la reacción catalizada por las óxido nítrico sintasas (NOS), donde la oxidación de L-arginina produce NO y L-citrulina (Alderton y col, 2001). Las isoformas clásicas son: la NOS neuronal (nNOS), la endotelial (eNOS), y la inducible (iNOS). La iNOS es la principal responsable del aumento en la producción de NO en respuesta a síndromes inflamatorios (Pacher y col, 2007). El aumento de la producción de NO, trascurridas 3 horas de la exposición a ROFA, indicaría que las alteraciones del metabolismo oxidativo observadas en el pulmón podrían deberse a una respuesta inflamatoria, donde el óxido nítrico cumple un rol importante.

Los marcadores de daño a macromoléculas mostraron una diferencia temporal, dado que se observó un aumento en la peroxidación lipídica a corto plazo, en tanto que el daño oxidativo a proteínas resultó significativo luego de 3 horas. Estos cambios concuerdan con la distinta susceptibilidad que presentan estas macromoléculas al daño oxidativo.

Con respecto a los niveles de antioxidantes, se ha observado una disminución en los valores de TRAP (que evalúa los cambios en los antioxidantes hidrosolubles de bajo peso molecular) y un aumento en la actividad de la enzima superóxido dismutasa. Esta última observación podría deberse a una respuesta adaptativa, ya que un aumento en la expresión y en la actividad de la enzima puede prevenir los daños en tejido pulmonar generado por los metales de transición presentes en la fracción particulada de contaminación ambiental. (Ghio *et al.*, 2002). Este tipo de respuesta ha sido observada en otros modelos experimentales, donde el pulmón ha sometido a una situación de estrés oxidativo moderado (Evelson y González Flecha, 2000).

La generación de especies oxidantes junto con la disminución en los niveles de defensas antioxidantes sugiere la ocurrencia de estrés oxidativo moderado luego de la exposición a partículas de contaminación ambiental. Estos cambios pueden producir la activación de vías de señalización celular que llevan a la activación de factores de transcripción específicos y la subsiguiente secreción de mediadores proinflamatorios y otras señales que pueden derivar en la ocurrencia de apoptosis (Schins *et al.*, 2004).

La inhalación de partículas ambientales induce una respuesta inflamatoria que produce estrés oxidativo y un aumento en la producción de óxido nítrico, lo que produciría el daño observado a macromoléculas. Estos cambios podrían contribuir al aumento de morbilidad y mortalidad observado en grandes urbes debido a la contaminación ambiental.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido financiado con subsidios de la Universidad de Buenos Aires (B107) y CONICET (PIP 6320).

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALDERTON, W.K.; COOPER C.E. y KNOWLES R.G. 2001. Nitric oxide synthases: Structure, function and inhibition. *Biochemical Journal* 357 (3): 593-615.

- ALVAREZ, S. y EVELSON, P. 2007 Nitric oxide and oxygen metabolism in inflammatory conditions: Sepsis and exposition to polluted ambients. *Front Biosci* 12: 964-974.
- ALDERTON, W.; COOPER, C. y KNOWLES, R. 2001. *Biochem J* 357:593-615.
- BOVERIS, A. y CADENAS, E., 2000. Mitochondrial production of hydrogen peroxide regulation by nitric oxide and the role of ubisemiquinone. *IUBMB Life* 50 245–250.
- BOVERIS, A.; LORES-ARNAIZ S; BUSTAMANTE J; ALVAREZ S; VALDEZ L; BOVERIS, A. y NAVARRO, A., 2002. Pharmacological regulation of mitochondrial nitric oxide synthase. *Methods in Enzymology* 359: 328-339.
- CHANCE, B. 1954. Special methods: catalase. Glick, R.(Ed.) Interscience, New York, pp 408-424.
- ESTABROOK, R. 1967. Mitochondrial respiratory control and the polarographic measurements of ADP:O ratios. *Methods in Enzymology* 10: 41-47.
- EVELSON, P. y GONZÁLEZ FLECHA B. 2000. Time course and quantitative analysis of the adaptive responses to 85% oxygen in the rat lung and heart. *BBA-Gen Subjects* 1523: 209-216.
- EVELSON, P.; TRAVACIO, M.; REPETTO, M.; ESCOBAR, J.; LLESUY, S. y LISSI. E., 2001. Evaluation of total reactive antioxidant potential (TRAP) of tissue homogenates and their cytosols. *Arch Biochem Biophys.* 388: 261-266.
- EVELSON, P.; TASAT D., y ALVAREZ, S. 2008. Air pollution, inflammation and oxidative stress. En “*Free Radical Pathophysiology*” Editado por Silvia Alvarez, Pablo Evelson y Alberto Boveris. Editora Research Signpost, India. Pág 237-254.
- FUBINI, B; FENOGLIO, I; CESCINO, R.; GHIAZZA, M.; MARTRA, G.; TOMATIS, M.; BORM, P.; SCHINS, R. y BRUCH. J., 2004. Relationship between the state of the surface of four commercial quartz flours and their biological activity in vitro and in vivo. *Int. J. Hyg. Environ. Health.* 207: 89-104.
- GHIO, A.; SILBAJORIS, R.; CARSON, J. y SAMET, J. 2002. Biologic effects of oil fly ash. *Environ. Health Perspect.* 110: 89-94.
- HANDZEL, Z., 2000. Effects of environmental pollutants on airways, allergic inflammation, and the immune response. *Rev Environ Health* 15: 325-336.
- HATZIS, C.; GODLESKI, J.; GONZÁLEZ-FLECHA, B.; WOLFSON, J. y KOUTRAKIS, P. 2006. Ambient particulate matter exhibits direct inhibitory effects on oxidative stress enzymes. *Environ Sci Technol* 40: 2805-2811.
- HOEK, G.; FISCHER, P.; VAN DEN BRANDT, P.; GOLDBOHM, S. y BRUNEKREEF, B. 2001. Estimation of long-term average exposure to outdoor air pollution for a cohort study on mortality. *J Expo Anal Env Epid* 11: 459-469.
- LI, N.; SIOUTAS, C.; CHO, A.; SCHMITZ, D.; MISRA, C.; SEMPF, J.; WANG, M.; OBERLEY, T.; FROINES, J. y NEL, A. 2003. Ultrafine particulate pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage. *Environ. Health Perspect.* 111: 455-460.
- LOWRY, O.; ROSEBROUGH, A.; FARR, A. y RANDALL, R. 1951. Protein measurement with the phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265-275.
- MANN, J.; TAGER, I.; LURMANN, F.; SEGAL, M.; QUESENBERY, C.; LUGG, M.; SHAN, J. y VAN DEN EEDEN, S. 2002 Air pollution and hospital admissions for ischemic heart disease in persons with congestive heart failure or arrhythmia. *Environ Health Persp* 110: 1247-1252.
- MISRA, H, y FRIDOVICH, I. 1972. *J. Biol. Chem.* 247: 3170-3175.
- NEL, A.; DIAZ-SANCHEZ D; HIURA, T. y SAXSON A. 1998. Enhancement of allergic inflammation by the interaction between diesel exhaust particles and the immune system. *J Allergy Clin Immun* 102: 539-545.

- OSTACHUK, A.; EVELSON, P.; MARTIN, S.; DAWIDOWSKI, L.; YAKISICH, S. y TASAT, D. 2008. Age-related lung cell response to urban Buenos Aires air particle soluble fraction. *Environ Res.* 107: 170-177.
- PACHER, P.; BECKMAN, J. y LIAUDET, L. 2007. Nitric oxide and peroxynitrite in health and disease. *Physiol Rev* 87: 315-424.
- PEDEN, D. 2001. Air pollution in asthma: Effect of pollutants on airway inflammation. *Ann Allerg Asthma Im* 87: 12-17.
- REZNICK, A. y PACKER, E. 1994. Oxidative damage to proteins: Spectrophotometric method for carbonyl assay. *Meth. Enzymol.* 233: 357-363.
- RHODEN, C.; LAWRENCE, J.; GODLESKI, J. y GONZÁLEZ-FLECHA, B. 2004. N-acetylcysteine prevents lung inflammation after short-term inhalation exposure to concentrated ambient particles. *Toxicol Sci* 79: 296-303.
- RUSZNAK, C.; DEVALIA, J. y DAVIES, R. 1994. The impact of pollution on allergic disease. *Allergy* 49: 21-23.
- SCHINS, R.; LIGHTBODY, J.; BORM, T.; SHI, K.; DONALDSON, T. y STONE, V. 2004. Inflammatory effects of coarse and fine particulate matter in relation to chemical and biological constituents. *Toxicol Appl Pharm* 184: 1-11.
- SIES, H. 1985. Oxidative stress: Introductory remarks, in: H. Sies (Ed.), Oxidative stress. *Academic Press*. San Diego. USA. pp. 1-7.
- SHIVA, S.; OH, J.; LANDAR, A.; ULASOVA, E.; VENKATRAMAN, A.; BAILEY, S. y DARLEY-USMAR, V. 2005. Nitroxia: The pathological consequence of dysfunction in the nitric oxide-cytochrome c oxidase signaling pathway. *Free Radical Bio Med* 38: 297-306.
- WARE, J. 2000. Particulate air pollution and mortality - Clearing the air. *New Engl J Med* 343: 1798-1799.
- YAGI, K., 1976. A simple fluorometric assay lipoperoxide in blood plasma. *Biochem. Med.* 15: 212-216.

# IMPACTO BIOLÓGICO ADVERSO SOBRE LAS VÍAS RESPIRATORIAS INDUCIDO POR MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DE SEDIMENTOS DEL RÍO RECONQUISTA

*Adverse biological impact on Airways induced by particulate matter of Sediment Samples from the Reconquista River*

Sebastián Ariel Ferraro<sup>1</sup>, Gustavo Curutchet<sup>1</sup> y Deborah Ruth Tasat<sup>\*1,2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudios de Salud y Medio Ambiente, Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Martín. Av. General Paz 5445 (1650), San Martín, Buenos Aires.

<sup>2</sup> Cátedra de Histología y Embriología, Facultad de Odontología, Universidad de Buenos Aires. Marcelo T. de Alvear 2142 (C1122AAH), Capital Federal, Buenos Aires.

\*dtasat@gmail.com

## RESUMEN

El Río Reconquista es uno de los cursos de agua más contaminados de la Argentina. Durante períodos de sequía expone extensas superficies de sedimentos contaminados, aumentando notablemente la bioaccesibilidad de metales pesados y facilitando la transferencia hacia la atmósfera de partículas de pequeño tamaño, pudiendo impactar en el sistema respiratorio de la población que habita en la ribera.

Las partículas provenientes de sedimentos del río Reconquista (MP-RR) se caracterizaron por microscopía electrónica de barrido, EDAX y extracción secuencial BCR. Se encontraron partículas de tamaño y forma heterogénea, teniendo el 83% un diámetro menor o igual a 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>). Su composición mostró Cu, Co, Fe, Ni, Zn, Ag, Cr, Mn, Cd y Pb, encontrándose todos menos Cd y Pb en cantidades superiores a los valores guía de la Ley nacional de residuos peligrosos 24051, y presentando alta bioaccesibilidad.

Se evaluó el impacto biológico de MP-RR *in vivo* sobre las vías respiratorias de ratones BALB/c (n=20), y *ex vivo* en células provenientes de lavado broncoalveolar. Se diseñaron cuatro grupos experimentales: controles sin tratamiento (C), sensibilizados con ovalbúmina (S) (simulando dificultad respiratoria), expuestos vía intranasal a MP-RR (PM) y sensibilizados y expuestos a MP-RR (S+PM). *In vivo*, la exposición a MP-RR provocó aumento significativo en el número total de células (primordialmente PMN) y en el porcentaje de O<sub>2</sub><sup>-</sup>. Los animales del grupo S+PM además presentaron un aumento en los niveles de IL-6 y TNF, y disminución en la actividad de la SOD. *Ex vivo* se observó que los metales bioaccesibles presentes en la partícula provocaron una generación de anión superóxido e inducción de apoptosis en forma similar a MP-RR.

Concluimos que MP-RR provoca un efecto biológico adverso exacerbado en animales con dificultades respiratorias previas., asociado principalmente a los metales presentes en la partícula.

**Palabras clave:** Río Reconquista, material particulado, vías respiratorias

## SUMMARY

Reconquista River is one of the most polluted water courses in Argentina. Its flooding plain remains dry on the low water seasons, raising the heavy metals bioavailability and allowing particulate matter (PM) from the dry sediments to move to the atmosphere and target the airways of people living on the Reconquista's bank.

We characterized Reconquista River PM (RR-PM) morphologically by SEM and chemically using EDAX and a BCR sequential extraction procedure. We identified particles of different size and form, an 83 % of them being equal or smaller than 10  $\mu\text{m}$ . Their elemental composition had Cu, Co, Fe, Ni, Zn, Ag, Cr, Mn, Cd y Pb, all except Cd and Pb in higher levels than the imposed by the National Regulation of Dangerous Residues (Law 24051), and presenting high bioavailability.

In this work we studied the biological effect of RR-PM *in vivo* on the airways of healthy BALB/c mice (C), intranasally exposed to RR-PM (PM), sensibilised with ovalbumin (S) (emulating a previous disease) and intranasally sensibilized and exposed to RRPM (S+PM) (n=5 per group). *In vivo*, RR-PM rose the total cell number, mainly the polymorphonuclear (PMN) population, and the generation of reactive oxygen species (particularly  $\text{O}_2^-$ ). Moreover, sensibilized animals exposed to RR-PM augmented proinflammatory mediators levels (specifically IL-6 and TNF) and SOD activity was partially impaired falling by half even when compared to the control group. *Ex vivo* we observed that the soluble fraction of bioavailable metals present in the particle provoked generation of reactive oxygen species ( $\text{O}_2^-$ ) and induction of apoptosis like RR-PM.

Thus we conclude that RRPM provokes adverse biological impact on the airways, which is largely aggravated in previously sensibilised animals, associated mainly to the bioavailable metals present in RR-PM.

**Key words:** Reconquista river, particulate matter, airways

## INTRODUCCIÓN

El Río Reconquista es uno de los cursos de agua mas contaminados de la Argentina y, dada su característica de atravesar zonas densamente pobladas, presenta serios conflictos en cuanto a la calidad de sus aguas y sedimentos. Su llanura de inundación permanece seca durante períodos de sequía (invierno y verano) produciéndose oxidación de los sulfuros y de la materia orgánica presentes en el sedimento y aumentando notablemente la bioaccesibilidad de los metales pesados. Se ha demostrado que son los metales (plomo, níquel, vanadio, zinc, hierro, etc.) adsorbidos a las partículas los responsables en gran medida producir efectos tóxicos, mutagénicos y carcinogénicos sobre el tejido pulmonar (Lewtas, 1993; Dreher *et al.*, 1996). Los vientos de la zona facilitan la transferencia hacia la atmósfera de partículas de pequeño diámetro presentes en los sedimentos secos, siendo el sistema respiratorio de la población que habita en la ribera uno de los principales blancos. La población expuesta al material particulado no se ve afectada de la misma manera, existen grupos de mayor riesgo en los cuales los efectos adversos causados por el material particulado son más drásticos (Tasat *et al.*, 2008). Por tanto, siendo el material particulado proveniente de los sedimentos del Río Reconquista (MP-RR) el nexo entre la salud de los habitantes de la ribera y la contaminación ambiental, y no habiéndose reportado estudios sobre los efectos biológicos del MP-RR, este trabajo pretende evaluar la exposición *in vivo* de animales sanos o con enfermedades respiratorias previas (utilizando un modelo de inflamación pulmonar) al MP-RR para determinar su potencial toxicidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Colección del material particulado

El material particulado proveniente de la fracción más superficial del sedimento del Río Reconquista (profundidad no mayor a 5 cm, factible de ser dispersado por el viento) se recolectó en recipientes plásticos y se almacenó en frío a 4°C. Las muestras se

trasladaron en condiciones de frío y oscuridad a los laboratorios que dispone la Escuela de Ciencia y Tecnología en el Quonset 23 del INTI. A fin de prevenir la alteración de las características de las muestras, éstas se analizaron dentro de las 96 hs post-recolección.

### **Morfología y composición química de las partículas del sedimento del río Reconquista (MP-RR)**

La morfología y composición química de las partículas del sedimento se analizaron mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y análisis de Energía Dispersiva de rayos X (EDAX) acoplado al MEB. El estudio se llevó a cabo empleando el equipamiento del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), INTI, Edificio número 14, Av. General Paz 5445 (1650).

### **Extracción, determinación y cuantificación de metales presentes en MP-RR**

Los metales presentes en las partículas se extrajeron a partir de muestras secas de sedimentos del Río Reconquista (MP-RR) siguiendo el protocolo de extracción secuencial BCR (Community Bureau of Reference) estandarizado por la EPA (Environmental Protection Agency, EE.UU) (Kartal *et al.*, 2005). De la primera y segunda extracción se obtienen los metales intercambiables bioaccesibles, y los de la tercera y cuarta extracción corresponden a metales no bioaccesibles. Los elementos químicos presentes se determinaron y cuantificaron por espectroscopía de absorción atómica (EAA) utilizando un espectrofotómetro Perkin-Elmer.

### **Animales**

Se utilizaron ratones BALB/c machos jóvenes (3 meses de edad) procedentes del bioterio de la Universidad de Buenos Aires. Los animales recibieron comida y agua ad libitum y fueron mantenidos en el bioterio del Centro de Estudios en Salud y Medio Ambiente (CESyMA) en condiciones de luz y temperatura controladas.

### **Sensibilización**

Los animales se inyectaron vía intraperitoneal (i.p.) una vez por semana, durante dos semanas consecutivas con una solución de 20 µg de Ovoalbúmina y 2 mg de Aluminio en 0.2 mL PBS (figura 1). Siete días luego de la última inoculación, se desafiaron por vía aérea con Ovoalbúmina 3% en PBS (aerosol, 10 minutos) durante tres días consecutivos (Hamada *et al.*, 2003; Fenoy *et al.*, 2009).

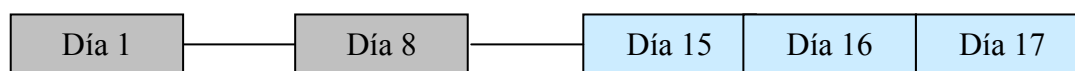


Figura 1. Esquema de sensibilización. ■ : Inoculación Intraperitoneal □ : Desafío por vía aérea

### **Exposición in vivo al material particulado**

Los ratones BALB/c sanos o previamente sensibilizados con ovalbúmina se instilaron con el material particulado en forma intranasal, según la metodología descrita por Southam *et al.* (2002). Quedaron conformados cuatro grupos experimentales: controles sin tratamiento (C), expuestos a MP-RR (PM), sensibilizados (S) y sensibilizados y expuestos a MP-RR (S+PM). El protocolo de exposición subaguda requirió tres exposiciones diarias (Martín *et al.*, 2007) (MP-RR 0.1 mg/mL PBS) como se muestra en la figura 2.

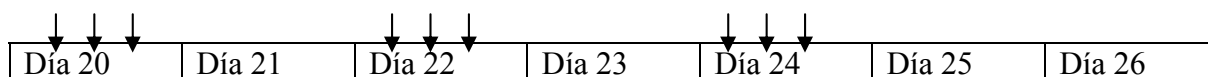


Figura 2. Esquema de Exposición a MP-RR. Cada flecha representa una dosis. Los días son consecutivos a la sensibilización. Los animales se sacrificaron 1 h después del tratamiento, y las células pulmonares fueron obtenidas por técnica de lavado broncoalveolar (BAL)

### **Recuento de células totales (RCT) y diferencial (RCD)**

El recuento total de macrófagos obtenidos en el lavado broncoalveolar (BAL) se realizó en cámara de Neubauer. A partir del BAL se realizaron extendidos celulares que se fijaron con metanol y colorearon con Hematoxilina-Eosina. Esta técnica permite distinguir las diferentes poblaciones celulares presentes en el BAL: macrófagos alveolares (MA), polimorfonucleares (PMN) y linfocitos.

### **Determinación de la generación anión superóxido ( $O_2^-$ )**

La producción de anión superóxido intracelular, una de las principales especies reactivas del oxígeno (ROS), se estudió mediante el test del Nitroazul de tetrazolio (NBT) (Segal, 1974; Molinari *et al.*, 2000).

### **Determinación de producción de interleuquina 6 (IL-6) y factor de necrosis tumoral (TNF)**

Los niveles de IL-6 se cuantificaron en el suero de animales controles y tratados, mientras que la producción de TNF se cuantificó en el sobrenadante del primer lavado broncoalveolar de estos animales. Ambas determinaciones se hicieron por ELISA, empleando kits comerciales (BD Biosciences-Pharmingen, San Diego, California, EEUU).

### **Determinación de antioxidantes: catalasa y superóxido dismutasa**

Las determinaciones de los antioxidantes catalasa y superóxido dismutasa (SOD) se realizaron en homogeneizados de pulmón de animales controles y expuestos. El fundamento para la determinación de catalasa reside en el consumo de  $H_2O_2$ . Su desaparición es evaluada por la absorbancia de la muestra a 240 nm (Maehly y Chance, 1954). La enzima superóxido dismutasa (SOD) es capaz de inhibir la oxidación de la adrenalina a adenocromo, reacción que puede medirse a 460 nm (Evelson *et al.*, 1997). En ambos ensayos, los resultados se relativizaron los resultados respecto de las proteínas de la muestra, determinadas por el método de Lowry *et al.*, (1955).

### **Análisis ex vivo de la generación de anión superóxido e inducción de la apoptosis**

A fin de identificar si los metales “bioaccesibles” presentes en las partículas son los principales responsables de la generación de anión superóxido ( $O_2^-$ ) y/o de inducir muerte celular, células provenientes de BAL ( $0.35 \times 10^6$  células/mL RPMI-1640) de ratones sanos fueron expuestas a distintos tratamientos durante 1 hs a 37°C:

- 1) **MP-RR.**
- 2) **MP-RR Tratado** con EDTA (0.1 M, pH=5), a fin de secuestrar los metales adsorbidos a las mismas.
- 3) **FMS** (fracción metálica soluble “bioaccesible” o FMS resultante del tratamiento 2).
- 4) **RPMI** (control 1).
- 5) **EDTA** (0.1 M, pH=5) + RPMI (control 2).



La generación de anión superóxido se evaluó mediante el test del Nitroazul de tetrazolio (NBT) (Martín *et al.*, 2007; Segal, 1974).

Para evaluar apoptosis, la detección de características morfológicas de este proceso, como pycnosis y/o fragmentación nuclear (Kerr, 1972) se observaron mediante microscopía óptica con Hoechst 33258 (Ostachuk *et al.*, 2008). Inmunocitoquímicamente se utilizaron anticuerpos específicos contra caspasa-3 y Poli (ADP-Ribosa) polimerasa (PARP), marcadores de este proceso celular.

### Análisis Estadístico

Todos los experimentos se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como sus valores medios  $\pm$  el error estándar (ES). El tratamiento estadístico se realizó mediante prueba de ANOVA (análisis de varianza) para revelar la existencia de diferencias significativas ( $p < 0.001$ ).

### RESULTADOS

Se observó una marcada heterogeneidad en el tamaño, morfología y composición química de las partículas. Pudieron diferenciarse matrices y aglomerados de tamaño mayor a  $PM_{10}$  y partículas menores o iguales a  $PM_{10}$  (partículas gruesas), a veces formando aglomerados o asociadas a matrices de forma irregular y mayor tamaño. Estas estaban compuestas principalmente de aluminosilicatos, trazas de hierro (Fe) y magnesio (Mg) (figura 3)

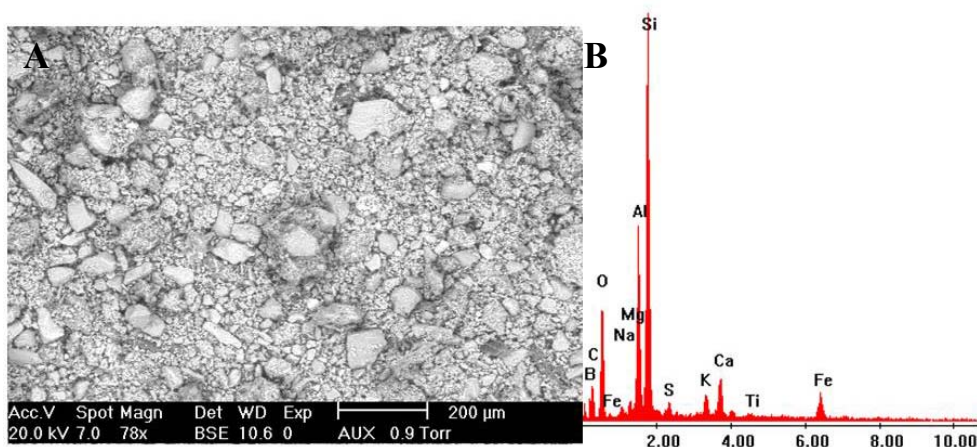


Figura 3. A. Microscopía electrónica de barrido (MEB) de MP-RR. Se observa heterogeneidad morfológica representada por matrices y aglomerados de partículas de gran tamaño ( $> PM_{10}$ ), partículas gruesas ( $PM_{10}$ ) y finas ( $PM_{2.5}$ ). Magnificación=78 X, escala=200  $\mu$ m. B. Análisis de energía dispersiva de rayos X (EDAX): composición química característica de MP-RR representada mediante espectros de energía (intensidad de pico en función de energía en KeV).

Mediante la extracción secuencial BCR se determinó que la partícula contenía Cu (401 mg/kg sedimento), Co (54.3 mg/kg sedimento), Fe ( $>1250$  mg/kg sedimento), Ni (38.5 mg/kg sedimento), Zn ( $>1250$  mg/kg sedimento), Ag (36.2 mg/kg sedimento), Cr (263.5 mg/kg sedimento), Mn (1058.5 mg/kg sedimento), Cd (3,5 mg/kg sedimento) y Pb (325 mg/kg sedimento). A excepción de Ni, Cd y Pb, el resto se encontró en la fracción intercambiable y bioaccesible en cantidades superiores a los niveles de valores guía de la Ley nacional de residuos peligrosos 24051 (decreto 831/93). Cabe destacar que

aunque el Ni, Cd y Pb no superaron los niveles establecidos, son reconocidos metales pesados tóxicos para el medioambiente y la salud humana.

En la figura 4 se grafica el RCT, pudiéndose observar que la acción de MP-RR provocó, en comparación con los controles, un reclutamiento celular mayor. El incremento en el RCT de los animales expuestos a MP-RR es dos o tres veces mayor que en el caso de los controles (**PM** =  $13.7 \times 10^5 \pm 0.6 \times 10^5$  vs. **C** =  $4 \times 10^5 \pm 0.5 \times 10^5$ ;  $P < 0.001$ ). Las partículas del río Reconquista provocan también, en animales sensibilizados, un aumento en RCT con respecto a sus controles (**S+PM** =  $14.6 \times 10^5 \pm 0.9 \times 10^5$  vs. **S** =  $6.1 \times 10^5 \pm 1 \times 10^5$ ;  $P < 0.001$ ). Cabe notar que el incremento del número de células del BAL causado por el MP-RR es independiente de la condición de las vías aéreas ya que no se encontraron diferencias significativas entre los grupos **PM** y **S+PM**.

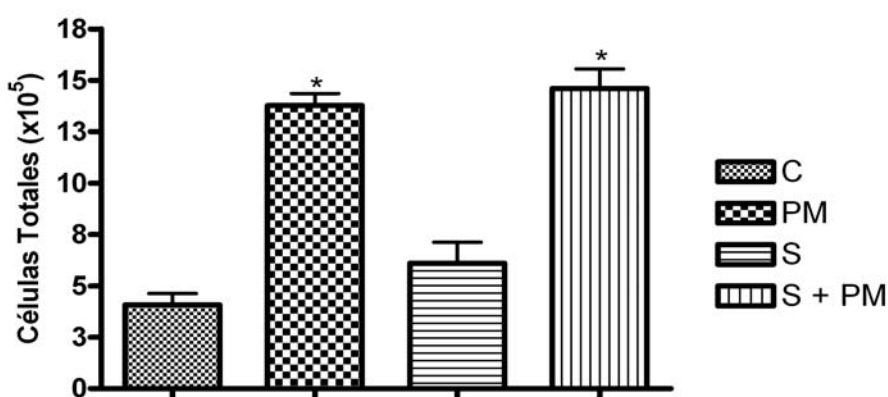


Figura 4. Recuento de células totales (RCT). Efecto del MP-RR sobre el número de células totales de BAL. Controles (C), expuestos al material particulado (PM), sensibilizados (S) y sensibilizados y expuestos a PM (S+PM). Cada barra representa la media  $\pm$  ES, n=5. Los experimentos se realizaron por triplicado.\* =  $p < 0.001$ , ANOVA (post test Newman-Keuls).

Las poblaciones celulares del BAL varían drásticamente en los grupos analizados. En los animales del grupo control, el 85% de las células fueron macrófagos alveolares (MA) mientras que el 15% restante estuvo compuesto casi en su totalidad por células polimorfonucleares (PMN) (figura 5).

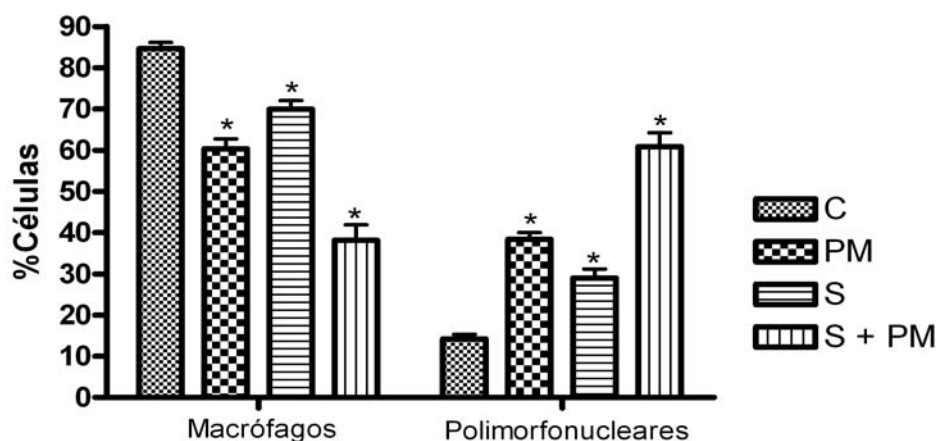


Figura 5. Recuento celular diferencial (RCD). Efecto del MP-RR sobre la proporción de macrófagos (MA) y polimorfonucleares (PMN), evaluado por tinción con Hematoxilina-Eosina. Controles (C), expuestos al material particulado (PM), sensibilizados (S) y sensibilizados y expuestos a PM (S+PM). Cada barra representa la media  $\pm$  ES,  $n=5$  animales. Los experimentos se realizaron por triplicado. \* =  $p<0.001$ , ANOVA (post test Newman-Keuls).

El porcentaje de linfocitos se mantuvo menor al 1% en todos los grupos estudiados (datos no mostrados). La exposición a MP-RR provocó un incremento significativo en el porcentaje de PMN respecto del grupo control (PM =  $38\pm 2\%$  vs. C =  $14\pm 1\%$ ;  $P<0.001$ ), en detrimento del porcentaje de MA (PM =  $60\pm 2\%$  vs. C =  $85\pm 3\%$ ;  $p<0.001$ ). Un comportamiento similar, pero con diferencias más acentuadas respecto del control, se observó en el grupo de animales sensibilizados y expuestos al MP-RR (MA: S+PM =  $38\pm 3\%$  vs. C =  $85\pm 3\%$  y PMN: S+PM =  $61\pm 4\%$  vs. C =  $14\pm 1\%$ ;  $P<0.001$ ).

En el ensayo del Nitrozul de tetrazolio (NBT), el  $O_2^-$  producido por las células reactivas del BAL provoca la reducción del NBT y consiguiente formación de un precipitado de color azul-violáceo. Como se observa en la figura 6, el porcentaje de células reactivas aumentó significativamente en los grupos expuestos a MP-RR respecto de los controles (PM =  $38.7\pm 1.9\%$  vs. C =  $9.8\pm 1.1\%$  y S+PM =  $61.3\pm 1.6\%$  vs. S =  $24.4\pm 2.5\%$ ;  $P<0.001$ ). Así mismo, el grupo de animales sensibilizados presentó una mayor reactividad que el grupo control (S =  $24.4\pm 2.5\%$  vs. C =  $9.8\pm 1.1\%$ ;  $p<0.001$ ). Los controles positivos, a los cuáles se les agregó tetradecanoil forbol acetato (TPA), alcanzan valores máximos superiores al 60%.

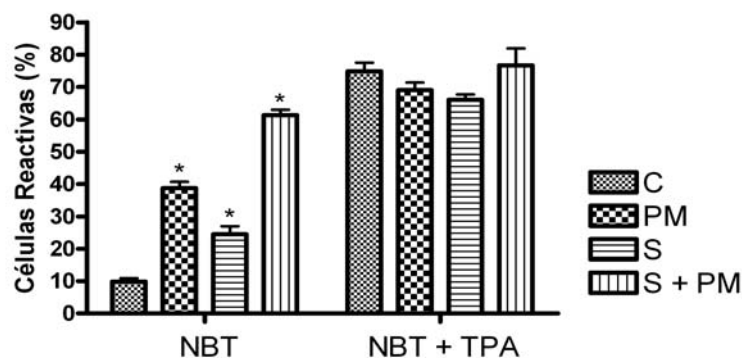
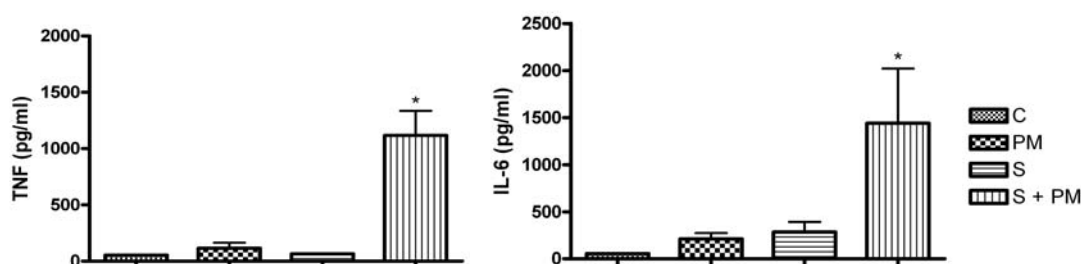


Figura 6. Generación de anión superóxido ( $O_2^-$ ) *in vivo*. Efecto del MP-RR sobre la generación de  $O_2^-$  evaluado mediante reducción de NBT. Controles (C), expuestos al material particulado (PM), sensibilizados (S) y sensibilizados y expuestos a PM (S+PM). Cada barra representa la media  $\pm$  ES, n=5. Los experimentos se realizaron por triplicado.\* =  $p < 0.001$ , ANOVA (post test Newman-Keuls).

Se cuantificaron mediante ELISA los niveles de las citoquinas proinflamatorias TNF $\alpha$  e IL-6 (figura 7).



**Figura 7. Concentración de TNF $\alpha$  e IL-6.** Se cuantificaron los niveles de TNF $\alpha$  en el sobrenadante del BAL y los de IL-6 en el suero de los distintos grupos experimentales, mediante ELISA. Controles (C), expuestos al material particulado (PM), sensibilizados (S) y sensibilizados y expuestos a PM (S+PM). Cada barra representa la media  $\pm$  ES, n=5 animales. Los experimentos se realizaron por triplicado.\* =  $p < 0.001$ , ANOVA (post test Newman-Keuls).

Los niveles de TNF en el BAL del grupo S+PM aumentaron significativamente respecto del grupo control (S+PM =  $1117 \pm 218$  pg/mL vs. C =  $55 \pm 2$  pg/mL;  $P < 0.001$ ), no así en el grupo expuesto a MP-RR (PM =  $116 \pm 48$  pg/mL) y el sensibilizado (S =  $66 \pm 5$  pg/mL). La IL-6 mostró un comportamiento similar, aumentando significativamente en el suero del grupo S+PM respecto del grupo control (S+PM =  $1540 \pm 336$  pg/mL vs. C =  $45 \pm 9$  pg/mL;  $P < 0.001$ ), no así en el grupo expuesto a MP-RR (PM =  $211 \pm 63$  pg/mL) y el sensibilizado (S =  $284 \pm 108$  pg/mL).

La generación de anión superóxido ( $O_2^-$ ) *ex vivo* se evaluó mediante el test del NBT. Como se observa en la figura 8, no se encontraron diferencias significativas entre los grupos controles RPMI ( $10.1 \pm 1.9\%$ ) y EDTA ( $13.9 \pm 1.3\%$ ). Si bien la partícula tratada con el quelante EDTA provocó un aumento significativo en el porcentaje de células reactivas respecto del control RPMI (MP-RR Tratado =  $19.2 \pm 1.8\%$  vs. RPMI =  $10.1 \pm 1.9\%$ ;  $P < 0.001$ ), la exposición a MP-RR provocó un aumento aún mayor (MP-RR

=  $44.6 \pm 1.7\%$ ). La fracción de metales solubles “bioaccesible” provocó un aumento comparable al inducido por MP-RR total (**FMS** =  $42.1 \pm 1.9\%$ ).

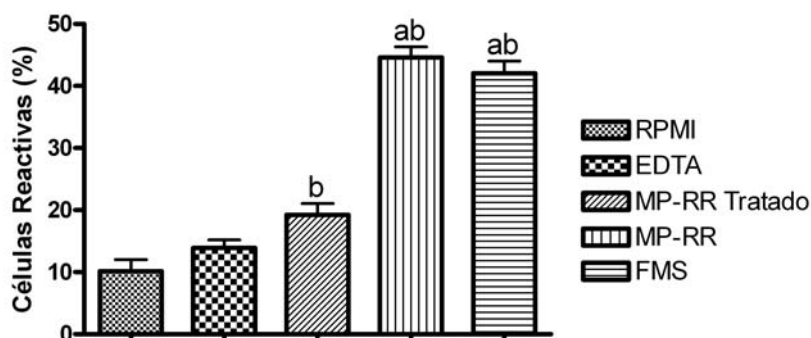


Figura 8. Generación de ROS ( $O_2^-$ ) *ex vivo*. Efecto del MP-RR sobre la generación de  $O_2^-$  evaluado mediante reducción de NBT. Células sin tratamiento (**RPMI**), expuestas a EDTA (**EDTA**), a la partícula tratada con EDTA (**MP-RR Tratado**), a la partícula total (**MP-RR**) y a la fracción de metales solubles (**FMS**). Cada barra representa la media  $\pm$  ES, n=5 animales. Los experimentos se realizaron por triplicado. **a** =  $p < 0.001$  (vs **EDTA**), y **b** =  $p < 0.001$  (vs **RPMI**), ANOVA (post test Newman-Keuls).

La apoptosis se evaluó *ex vivo* mediante el análisis de la morfología nuclear revelada por empleo del colorante fluorescente Hoechst 33258. El porcentaje de células apoptóticas en las células del BAL provenientes de animales sanos aumentó significativamente respecto de los controles cuando estas fueron expuestas a MP-RR (**MP-RR** =  $50.1 \pm 1.8\%$  vs. **RPMI** =  $11.5 \pm 3.7\%$  y **EDTA** =  $16.9 \pm 3.7\%$ ;  $P < 0.001$ ). En concordancia con la producción de anión superóxido, la fracción metálica soluble “bioaccesible” indujo un aumento en el porcentaje de células apoptóticas similar al provocado por la partícula total (**FMS** =  $49.1 \pm 3.8\%$ ) (figura 9). Cabe notar que no se observaron diferencias entre los grupos **RPMI**, **EDTA** y el expuesto a la partícula tratada con EDTA (**MP-RR Tratado** =  $14.3 \pm 2.1\%$ ). Los resultados obtenidos en las detecciones inmunocitoquímicas de PARP y caspasa 3 se correlacionaron con los obtenidos en la evaluación morfológica, siendo para caspasa 3 (datos no mostrados).

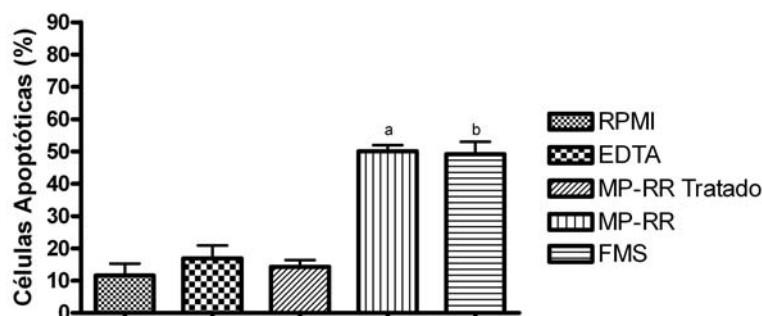


Figura 9. Ocurrencia de apoptosis. Efecto de MP-RR sobre la ocurrencia de apoptosis en células del BAL, evaluado por Hoechst. Células sin tratamiento (**RPMI**), expuestas a EDTA (**EDTA**), a la partícula tratada con EDTA (**MP-RR Tratado**), a la partícula total (**MP-RR**) y a la fracción de metales solubles (**FMS**). Cada barra representa la media  $\pm$  ES, n=5 animales. Los experimentos se realizaron por triplicado. **a** =  $p < 0.001$  (vs **EDTA**), y **b** =  $p < 0.001$  (vs **RPMI**), ANOVA (post test Newman-Keuls).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto biológico adverso sobre las vías respiratorias inducido por material particulado proveniente de sedimentos del Río Reconquista. En MP-RR se encontraron partículas gruesas (PM<sub>10</sub>) y finas (PM<sub>2,5</sub>), capaces de ser dispersadas por erosión eólica e ingresar en las vías aéreas de la población de la ribera. Este hecho se ve notablemente agravado por el alto contenido de metales bioaccesibles presentes en MP-RR, los cuáles están íntimamente asociados al desarrollo de enfermedades cardiopulmonares y aumentos en la mortalidad y morbilidad humanas en individuos con enfermedades respiratorias previas. Las partículas provenientes de sedimentos del Río Reconquista desencadenaron una respuesta de tipo inflamatoria, caracterizada por la infiltración celular en el pulmón de PMN, aumento de IL-6 e incremento en la generación de anión superóxido, siendo capaz de inducir apoptosis en células del BAL. Este tipo de respuesta a largo plazo puede llevar al desarrollo de enfermedades pulmonares crónicas. Asimismo, se observó que esta respuesta está asociada al contenido de metales bioaccesibles presentes en la partícula. Concluimos que MP-RR provoca en animales sanos, y acentúa en animales con enfermedades respiratorias previas, un efecto biológico adverso sobre las vías respiratorias.

## BIBLIOGRAFÍA

- DREHER, K.; JASKOT, R.; KODAVANTI, U.; LEHMANN, J.; WINSETT, D. and COSTA, D., 1996. Soluble transition metals mediate the acute pulmonary injury and airway hiperreactivity induced by residual oil fly ash. *Chest*. 109S: 33S-34S.
- FENOY, I.; GIOVANNONI, M.; BATALLA, E.; MARTIN, V.; FRANK, F.M.; PIAZZON, I. and GOLDMAN, A. 2009. Toxoplasma gondii infection blocks the development of allergic airway inflammation in BALB/c mice. *Clin Exp Immunol*. 155(2):275-284.
- HAMADA, K.; SUZAKI, Y.; GOLDMAN, A.; NING, Y.Y.; GOLDSMITH, C.; PALECANDA, A.; COULL, B.; HUBEAU, C. and KOBZIK, L. 2003. Allergen-independent maternal transmission of asthma susceptibility. *J Immunol*. 170(4):1683-9.
- KARTAL, S.; ZEKI, A. and TOKALIOGLU, S. 2005. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. *J Haz Mat*. 132 (2006): 80-89.
- KERR, J.F. 1972. Apoptosis: a basic biological phenomenon with wide-ranging implications in tissue kinetics. *Br J Cancer*; (4):239-257.
- LEWTAS, J. 1993. (Ed. L. Tomatis). En prensa. *Air Pollution and Human Cancer*. Springer Verlag [Berlín. pp. 103-118].
- OSTACHUK, A.; EVELSON, P.; MARTIN, S.; DAWIDOWSKI, L.; YAKISICH, J.S. and TASAT, D.R. 2008. Age related lung cell response to Urban Buenos Aires Air particle soluble fraction. *Environ Res*. 107(2):170-177.
- TASAT, D.R.; MANCUSO, R.; O'CONNOR, S. and MOLINARI, B. 2008. Age-dependent change in reactive oxygen species and nitric oxide generation by rat alveolar macrophages. *Aging Cell*. 2(3): 159-164.
- SOUTHAM, D.S.; DOLOVICH, M.; O'BYRNE, P.M. and INMAN, D. 2002. Distribution of intranasal instillations in mice: effects of volume, time, body position and anesthesia. *Am. J. Physiol. Lung Cell. Mol. Physiol*. 282(4):833-839.
- MARTIN, S.; DAWIDOWSKI, L.; MANDALUNIS, P.; CERECEDA-BALIC, F. and TASAT, D.R. 2007. Characterization and biological effect of Buenos Aires urban air particles on mice lungs. *Environ Res*. 105(3):340-349.

- SEGAL, A.W. 1974. Nitroblue-tetrazolium test. *Lancet* 2, 1248-1252.
- MOLINARI, B.L.; TASAT, D.R.; FERNÁNDEZ, M.L.; DURÁN, H.A.; CURIALE, J.; STOLIAR, A. and CABRINI, R.L. 2000. Automated image análisis for monitoring oxidative burst in macrophages. *Anal Quant Cytol Histol.* 22(5): 423-427.
- TASAT, D.R. and DE REY, B.M. 1987. Cytotoxic effect of uranium dioxide on rat alveolar macrophages. *Environ Res.* 44(1):71-81.
- MAEHLY, A.C. and CHANCE, B. 1954. The assay of catalases and peroxidases. *Methods Biochem Anal.* 1:357-424
- EVELSON, P.; ORDÓÑEZ, C.P.; LLESUY, S. and BOVERIS, A. 1997. Oxidative stress and in vivo chemiluminescence in mouse skin exposed to UVA radiation. *J Photochem Photobiol B.* 38(2-3):215-219.
- LOWRY, O.H.; ROSEBROUGH, N.J.; FARR, A.L. and RANDALL, R.J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J Biol Chem.* 193(1):265-75.





# APORTES DESDE LA PSICOLOGÍA PARA LA ADAPTACIÓN FRENTE A ESTRESORES MEDIOAMBIENTALES

*Psychology contributions to environmental stressors adaptation.*

Schelica Mozobancyk\* y Nora B Leibovich de Figueroa

Facultad de Psicología, Universidad de Buenos Aires  
CONICET

\*schelica@uolsinectis.com.ar

## RESUMEN

La Psicología Ambiental es la disciplina que estudia las relaciones entre el medio ambiente físico y el ser humano a través de sus percepciones, y conductas. En esta problemática, la Psicología Ambiental aporta no solo en relación al reconocimiento del rol que tiene cada persona de su contexto, sino también proponiendo acciones para las poblaciones expuestas. Estas acciones están relacionadas con la reducción de vulnerabilidad (atención primaria), con la atención de víctimas de desastre (secundaria) o con el seguimiento de aquellos que han padecido catástrofes y sus efectos negativos (terciarias).

Presentamos resultados acerca de actitudes antropocéntricas versus ecocéntricas así como la conceptualización acerca del cambio climático en una muestra de estudiantes universitarios.

**Palabras clave:** Psicología ambiental, actitudes antropocéntricas, actitudes ecocéntricas

## SUMMARY

Environmental Psychology study relationships among the environment and the human being, through their perceptions and behaviors. This discipline not only enhance the acknowledge of the role that each person has in their context, but also proposes actions to the exposed populations. This actions are related to vulnerability reduction (primary prevention) , disasters, victims assistance (secondary prevention) or the following of those who have been in a catastrophe and have on consequence negative effects (tertiary prevention).

Results regarding anthropocentric vs. ecocentric attitudes are presented. Is also presented the university students conceptualization of climate change.

**Key words:** Environmental Psychology, attitudes anthropocentric, attitudes ecocentricas

## INTRODUCCIÓN

La Psicología Ambiental es una rama de la Psicología que se ocupa en estudiar las interacciones entre el hombre (y los grupos humanos) y el ambiente, tomando en cuenta dos aspectos: a) los efectos de los distintos ambientes sobre las representaciones, emociones y comportamientos humanos; y b) los determinantes psicológicos (y psicosociales) de las intervenciones humanas sobre el ambiente (es decir, cómo el modo en que nos representamos y valoramos los distintos ambientes determinan distintos comportamientos en relación a ellos). Ya en 1985 Levy-Leboyer proponía a la Psicología del Medio Ambiente como el estudio de las relaciones hombre/medio ambiente en su aspecto dinámico. El medio ambiente debe ser estudiado desde una

perspectiva molar y no molecular o analítica “La conducta del ser humano en su medio ambiente no es tan solo una respuesta a un hecho y a sus variaciones físicas. El medio ambiente no es un campo de posibles estímulos, sino un conjunto de objetivos o fines, aborrecibles o deseables”.

La Psicología Ambiental es una disciplina que aporta herramientas valiosas para la formulación de Programas Ambientales. La Psicología Ambiental forma parte hoy de la Ecopsicología cuyas finalidades principales son:

-Favorecer una interacción armónica entre el hombre y el ambiente, entre el cuerpo y la psiquis, entre psicología y ambientalismo. Algunas direcciones en las que se desarrolla la Ecopsicología actualmente:

1-Estudio de la comunicación hombre-natura en otras culturas.

2-El desarrollo de una nueva actitud en la relación con la naturaleza, resolviéndose sobre todo en el campo de la educación. Mostrando que la naturaleza no es solo un ambiente hostil en el cual se busca supervivir o un depósito de recursos a agotar sin reservas, ni tampoco cualquier cosa de algo caro a salvar por benevolencia y magnanimidad.

3-La elaboración de nuevas estrategias para llevar adelante la causa ambientalista, depositando el discurso propio no tanto sobre una culpabilidad por la degradación ambiental, sino sobre un compromiso activo, práctico y optimista para resolver el problema.

La forma en que las personas y colectivos sociales percibimos nuestro ambiente, las actitudes y atribuciones causales que tenemos respecto a él y los valores que sostenemos están en la base de los comportamientos ambientales. Los programas de gestión ambiental dirigidos al control, a la mitigación o al afrontamiento del impacto del cambio climático, necesitan incluir como objetivo el cambio de actitudes y comportamientos de los distintos sectores o actores sociales involucrados (políticos, planificadores urbanos, comunidad científica, educadores, comunicadores sociales, empresarios, organizaciones de la sociedad civil, ciudadanos). Hoy existe consenso entre la comunidad científica, respecto a que el problema del cambio climático encuentra su origen en actividades antrópicas (tanto industriales como de la vida cotidiana). La forma en que las personas, grupos sociales y sociedades percibimos nuestro ambiente, las actitudes que desarrollamos hacia él y los valores que sostenemos están en la base de dichos comportamientos ambientales. Por ello, los programas de gestión ambiental dirigidos tanto al control, como a la mitigación o al afrontamiento del impacto del cambio climático, pasarán, necesariamente, por el cambio de comportamientos de los distintos sectores o actores sociales involucrados (políticos, planificadores urbanos, comunidad científica, educadores, comunicadores, empresarios, organizaciones de la sociedad civil, ciudadanos). A efectos de lograr cambios de comportamientos ambientales es necesario conocer sus variables mediadoras, como la percepción del problema, creencias en torno al mismo, actitudes y valores.

A nivel internacional, los estudios se han dirigido hacia:

-El estudio de las actitudes y comportamientos proambientales generales (caso de la adhesión al Nuevo Paradigma Ambiental, según la formulación de Dunlap y Van Liere).

-Al estudio de actitudes y comportamientos específicos, que tiene incidencia directa en el cambio climático.

La Psicología Ambiental ha desarrollado, paralelamente, gran cantidad de instrumentos y escalas de medición para evaluar todos los constructos antes mencionados. De las representaciones sociales del ambiente, que cada sociedad construye y sostiene (por ejemplo, el ambiente como recurso a ser dominado, el ambiente como fuente de vida y del que somos parte, el ambiente como fuente inagotable de recursos, el ambiente como sinónimo de entorno artificial construido, etc.) Estas representaciones determinan el modo como se comportan las personas en su entorno. Con base en estos conceptos y sus líneas de investigación se han desarrollado enorme cantidad y variedad de Programas de Intervención Ambiental, de base psicológica, destinados a fomentar los comportamientos proambientales.

### **Preguntas a investigar**

- ¿Cuáles son las actitudes predominantes en relación a la Naturaleza?
- ¿Cómo evalúa y valora la persona los cambios climáticos y globales?
- ¿Qué conductas (estrategias) pone en marcha frente a esta amenaza?

Ha llamado el interés de los psicólogos la manera en la cual las personas se enfrentan y solucionan sus problemas y especialmente el proceso que se pone en movimiento para enfrentarse los estresores en este caso medio-ambientales.

Es importante para los individuos realizar evaluaciones y valoraciones de estos fenómenos como desafío frente a los cuales implementará una conducta centrada en el problema, en la emoción o de huida. Si el estresor es evaluado como amenazante para su integridad no podrá poner en marcha conductas frente al mismo y permanecerá inactivo.

Estas estrategias conductuales son adaptativas, ¿a qué?

A la salud, al bienestar y a la calidad de vida.

Como Psicólogos nos interesan las percepciones, concepciones o atribuciones que los sujetos, en nuestro medio, tiene en relación a la naturaleza y al proceso de cambio climático al que estamos expuestos.

### **Objetivo**

1- Evaluar la “conciencia ecológica” (antropocentrismo versus ecocentrismo)

Esta conceptualización (Nuevo Paradigma Ambiental) se focaliza sobre las creencias acerca de la habilidad humana para modificar el balance de la naturaleza, la existencia de límites para el crecimiento de las sociedades humana, y los derechos de la humanidad para reglamentar acerca del resto de la naturaleza.

2-Conocer las representaciones y atribuciones causales del cambio climático

El objetivo de esta presentación debe enmarcarse en la línea de análisis de las conductas ecológicamente responsables y la percepción de las características que subyace a dichas conductas.

## MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó a través de:

### 1-Estudio exploratorio cuantitativo acerca de las actitudes hacia la Naturaleza

Centrándose en creencias sobre la capacidad humana para perjudicar el equilibrio de la Naturaleza, sobre la existencia de límites en el crecimiento de las sociedades humanas y sobre el derecho de los seres humanos a gobernar la Naturaleza, Dunlap y Van Liere (1978) propusieron la escala Nuevo Paradigma Ambiental (New Environmental Paradigm NEP). Este instrumento ha sido adaptado lingüística y conceptualmente para su uso en nuestro medio (Leibovich de Figueroa, Mozobancyk, 2008)

Esta escala toma en consideración las siguientes subescalas o factores.

Se presenta una oración (ítem) que ejemplifica la manera en que fue operacionalizado cada factor

Factor 1: Antropocentrismo. (La idea que la humanidad va a enfrentarse a una crisis ecológica global se ha exagerado enormemente)

Factor 2: Ecocentrismo. (Las plantas y los animales tienen tanto derecho como los seres humanos a existir).

Factor 3: Conciencia de la limitación de la biosfera y el ser humano. (Nos estamos acercando al número límite de personas que la tierra puede albergar).

Factor 4: Confianza en la actuación del ser humano ante la naturaleza. ((Para conseguir el desarrollo sostenible, es necesaria una situación económica equilibrada en la que esté controlado el crecimiento industrial).

Las escalas ofrecían como opciones de respuesta: 1 (Totalmente de acuerdo), 2 (Medianamente de acuerdo o inseguro), 3 (Medianamente en desacuerdo) y 4 (Totalmente en desacuerdo), los puntaje más altos indica un mayor grado de desacuerdo con el factor evaluado.

Es decir, frente al paradigma dominante, antropocentrista, el nuevo paradigma que surge sería de tipo ecocéntrico. Uno de los elementos de análisis es el sistema de creencias y actitudes que los sujetos comparten sobre sí mismos, la Naturaleza y la relación que los une.

Conocer cuáles son las creencias respecto a la naturaleza y sus cambios es el primer paso para cuidarla y generar conductas de protección frente a la posible amenaza.

2-Estudio exploratorio cualitativo, a fin de conocer los principales núcleos del complejo representacional vinculados con el Cambio Climático, habida cuenta de que no contamos con antecedentes nacionales ni internacionales en esta línea de investigación. Los ejes indagados fueron: a) representación del cambio climático; b) información y creencias respecto a las causas del mismo; c) creencias en relación a si puede o no afectarnos. Los textos producidos fueron analizados con técnicas de análisis de contenido.

Desde este punto de vista, ya desde mediados de los años 70, se viene planteando que las creencias que la sociedad mantiene sobre este particular, configuran un paradigma que refleja el modo en que el ser humano conceptualiza la Naturaleza y se comporta frente a ella.

## Participantes

Descripción de los participantes a los que se le administró la escala NEP:

Participaron 100 sujetos de educación universitaria incompleta, siendo el 82% de sexo femenino. El 56.6% reside actualmente en la Capital Federal y el 43.4% restante en la Provincia de Bs.As. El 75% de la muestra ingresó a la Facultad entre el 2001 y el 2006. Cursan en los tres turnos (mañana, tarde y noche) de la franja horaria en forma homogénea. El 70% refiere que trabaja actualmente y el 23% realiza actividades voluntarias.

## RESULTADOS

Análisis estadístico de la escala NEP en una muestra de estudiantes universitarios.

Para el análisis de las subescalas o factores, se realizó el promedio en cada uno de ellos, sumando el puntaje de los ítems que los componen y dividiéndolos por la cantidad de ítems, para hacerlos comparables entre sí, ya que la cantidad de ítems por factor es disímil (Tabla 1).

	Factor 1	Factor2	Factor3	Factor4
N	100	100	100	100
Media	2,90	1,36	1,87	1,55
Mediana	3,00	1,20	1,66	1,50
Modo	3,33	1,00	1,67	1,00
Desviación estándar	0,58	0,43	0,67	0,58

Tabla 1. Estadísticos Descriptivos de los Factores Escala NEP para la muestra total.

Se observa que el Factor Antropocentrismo es el que presenta una media superior ( $M = 2.9$ ,  $DE = 0.58$ ), seguido por el Factor Conciencia de la limitación de la biosfera y el ser humano ( $M = 1.88$ ,  $DE = 0.68$ ). El Factor que presenta una media más baja es el Factor Ecocentrismo ( $M = 1.37$ ,  $DE = 0.43$ ). (Leibovich de Figueroa y Mozobanyk, 2008)

Debemos recordar que dado que la escala ofrecía como opciones de respuesta: 1 (Totalmente de acuerdo), 2 (Medianamente de acuerdo o inseguro), 3 (Medianamente en Desacuerdo) y 4 (Totalmente en desacuerdo), por lo que los puntajes más altos indican un mayor grado de desacuerdo con el factor evaluado.

Se observa que los sujetos perciben estar más en desacuerdo con el factor antropocentrismo y más de acuerdo con el factor ecocentrismo, siendo éstos los de mayor y menor puntaje promedio respectivamente.

Se comparó la respuesta de cada grupo (sexo femenino o masculino) a cada factor de la escala con la prueba no paramétrica U de Mann Whithney.

Los resultados indican que no se observaron diferencias significativas en el promedio obtenido para cada factor según el sexo.

En relación a las representaciones y atribuciones causales del cambio climático en esta población teniendo presente los ejes temáticos plateados observamos lo siguiente:

### 1-¿QUÉ ES EL CAMBIO CLIMÁTICO?

Principales categorías identificadas (En orden de importancia según cantidad de respuestas):

Descripciones generales, muy vagas y/o tautológicas: Categoría que concentra la mayor cantidad de respuestas (se ubican en ella casi el 50% de los encuestados.) Ejemplos:

“Se trata tal como lo dice el nombre, de un cambio en el clima. Producido por el calentamiento global”.

“Es el conjunto de modificaciones ambientales que provocan cambios drásticos en el clima a lo largo del tiempo”.

Remite a las variaciones de los parámetros normales del clima que podrían o no afectar considerablemente el medio ambiente y todos los fenómenos implicados en él”.

“Es el cambio en el clima de nuestro planeta”.

Temperaturas impropias:

“Creo que es una variación en el clima en una estación determinada, cuando en verano hay días de mucha temperatura o en invierno baja mucho”.

“Significa que ya no se “respeta” (climáticamente) las estaciones del año”.

“Es cuando en una estación climática, por ejemplo en el invierno hay días que hace calor y parece que fuera otra estación”.

Aumento de temperatura:

“Que cada vez el clima de la tierra es más tropical. Se derriten los hielos continentales, climas tradicionalmente fríos se vuelven más templados”.

“Es un cambio global en el clima, aumenta la temperatura en general. Los climas del planeta comienzan a ser cada vez más tropicales”.

“El cambio climático es el aumento de la temperatura de la tierra, también llamado “calentamiento global”.

Cambios bruscos de temperatur

a: “Es cuando bruscamente de una temperatura “x” se pasa a una temperatura “y”.

“Me parece que se llama así al cambio abrupto de temperaturas”.

“Podría decir que se debe a los cambios bruscos de la temperatura, afectando así al clima”.

## 2-¿A QUÉ SE DEBE EL CAMBIO CLIMÁTICO?

Principales categorías identificadas (En orden de importancia según cantidad de respuestas):

Es responsabilidad humana: Categoría que concentra la mayor cantidad de respuestas (se ubican en ella casi el 50% de los encuestados.) Ejemplos:

“Se debe al daño que las acciones del hombre produce sobre la tierra”.

“Por el hombre en el medio natural, alterando o sobreexigiendo al mismo”.

“Una de las causas es el recalentamiento global. Consecuencia de la contaminación humana”.

“La causa principal que provoca este cambio climático me parece que está asociado a la acción del hombre sobre los recursos naturales”.

A los contaminantes:

“Se debe a varios factores: contaminación de cada una de las personas y las fábricas, gases tóxicos, aerosoles, poda de árboles masiva, humos, contaminación por basurales, etc.”.

“Se debe a la contaminación ambiental, principalmente por la eliminación de monóxido de carbono de los automóviles, los desechos tóxicos de las fábricas que contaminan el aire y el agua”.

“El cambio climático se debe a la gran cantidad de desechos, gases tóxicos y contaminación que se emanan constantemente”.

#### A la capa de ozono:

“A los contaminantes que afectan la capa de ozono y evitan que se escape el calor de una manera rápida de la tierra generando el llamado “efecto invernadero”.

“El agujereamiento de la capa de ozono hace que se produzca un efecto invernadero, aumentando de este modo la temperatura del globo”.

“Se debe a la destrucción de la capa de ozono, lo que permite que los rayos de sol impacten de forma directa en la tierra”.

“Se debe al calentamiento global en primera instancia, producto del daño en la capa de ozono”.

#### Respuestas donde las causas aparecen confusas y también los efectos:

“Se debe a la acumulación de efecto invernadero, el derretimiento de los hielos polares por causa del calentamiento global”.

“En algunos casos a la poda indiscriminada de árboles (como en nuestro país), el avance de la tecnología que en ciertos casos es perjudicial (explosiones nucleares). A los escapes de gases tóxicos de plantas industriales (como en Gualeguaychú)”.

“Mucho tendrá que ver la contaminación del agua, del aire, a raíz de fábricas o radiaciones por desechos tóxicos, también la tala de árboles indiscriminada sin plantar otros, etc”.

“Se debe a que las emanaciones industriales de CFC’s (clorofluorocarbonos) han creado una capa en nuestra atmósfera que permite el ingreso de calor, pero no su salida (efecto invernadero) lo cual hace que la temperatura media del planeta aumente”.

### 3-¿PUEDE AFECTARNOS EL CAMBIO CLIMÁTICO?

#### Principales categorías identificadas

##### Efectos sobre la salud

“Esto podría tener consecuencias graves para el hombre, sobre todo en relación con la salud, ya que esto podría ser un factor de riesgo para contraer enfermedades como el cáncer de piel y otras enfermedades asociadas”.

“ Sí, en los pulmones, la respiración, enfermedades”.

“Podría volvernos más sensibles al cáncer de piel o traernos problemas respiratorios, etc.”.

“Podría afectarnos ya que por este motivo cada vez surgen más enfermedades (en cantidad) y también más variedad de ellas”.

##### Catástrofes

“Yo creo que no es casualidad que en estos últimos años hayan ocurrido tantas catástrofes climáticas en todo el mundo”.

“Sí, nos puede afectar a nivel de catástrofes naturales que pueden desencadenarse como tsunamis que destruyen poblaciones entera.”

“Podría afectarnos, ya que al elevarse el nivel del mar pueden producirse grandes catástrofes como inundaciones, fuertes vientos, sequías, terremotos, maremotos, tornados, huracanes, etc.”

“Los desastres y alteraciones en el mundo en cuanto a lo climático son cada vez más frecuentes: tsunamis, huracanes, granizo en Buenos Aires, etc.”.

### Deshielos

“Las inundaciones que se pueden ocasionar por el deshielo, entre otras cosas”.

“De hecho los glaciares se están derritiendo aceleradamente, y por ejemplo, Buenos Aires está a nivel del mar, podría quedar en un par de años bajo el agua”.

“Ocurren desastres atmosféricos como los observados recientemente: los deshielos (nieve, granizo del tamaño de pelotas en Capital)”.

“Podría cambiar radicalmente el clima estacionario, derretirse los glaciares (lo cual traería serios problemas a nivel mundial) y esto impacta tangencialmente en el ambiente y éste por estar en interacción con el hombre nos afectaría mucho”.

Observamos que el cambio climático se define principalmente por variaciones térmicas puntuales, existiendo, también, muchas definiciones tautológicas del mismo. La representación aparece asociada e indiferenciada de otros problemas ambientales globales (principalmente el agotamiento de la capa de ozono) pero también la existencia de terremotos, tsunamis, etc. de connotaciones catastróficas. Las causas aparecen poco diferenciadas de los efectos, encontrándose, con frecuencia, explicaciones tautológicas de los procesos. (Leibovich de Figueroa; Mozobancyk, 2009)

### **CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos nos permiten profundizar en el conocimiento acerca de cómo se estructuran estas percepciones básicas sobre la relación ser humano-Naturaleza en nuestro contexto, cubriendo una de las necesidades de investigación aún inexplorada en nuestro contexto.

Los participantes han mostrado inclinarse hacia una visión ecocéntrica de la naturaleza , es decir están de acuerdo con respetarla y protegerla y están totalmente en desacuerdo con una visión antropocéntrica es decir mirar a la naturaleza exclusivamente desde la visión del ser humano para su explotación. Mostrando que estos participantes parecen tener conciencia de la biosfera y de su naturaleza. Basándonos en estos resultados se propone la generación de actitudes y conductas proambientales basados en conceptos del nuevo paradigma ambiental.

La complementariedad de los resultados obtenidos con el estudio representacional nos lleva a proponer:

- Es necesario trabajar a partir de las representaciones de la población a fin de hacer efectivas las estrategias de prevención y mitigación.
- Son estas representaciones y actitudes hacia el medio ambiente las que pueden ejercer un efecto de aumento o disminución de la vulnerabilidad, mitigación o prevención de estrategias psicobiológicas adaptativas o no a la salud de la población. Estos resultados son auspiciosos para continuar indagando en estos aspectos y nos indican un camino a seguir en futuras campañas o programas de protección de la salud de la población.

### **BIBLIOGRAFÍA**

DUNLAP, R.; VAN LIERE, K.; MERTIG, D.; ANGELA, G. and EMMET JONES, R. 2000. Evaluación del nuevo paradigma ecológico: revisión de la escala NEP. Journal of Social Sciences, Fall 2000.



- LEIBOVICH DE FIGUEROA, N. 2007. Vulnerabilidad y adaptación humana frente a estresores medioambiental. Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático (PIUBACC). Buenos Aires
- LEIBOVICH DE FIGUEROA N. y MOZOBANCYK S. 2008. Aportes de la psicología ambiental. Ecocentrismo-antropocentrismo. Un nuevo paradigma ambiental. Cuarto Encuentro de Investigadores en Psicología del MERCOSUR Facultad de Psicología Universidad de Buenos Aires
- LEIBOVICH DE FIGUEROA, N. 2009. Aportes desde la psicología para la adaptación frente a estresores medioambientales. II Jornadas del Programa interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre cambio climático PIUBACC- VI Simposio taller Internacional de la Red CYTED Estrategias Integradas de Adaptación y Mitigación a Cambio Globales CYTED
- LEIBOVICH DE FIGUEROA N. y MOZOBANCYK, S. 2009. Representaciones y atribuciones causales del cambio climático en estudiantes universitarios. II Jornadas del Programa interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre cambio climático PIUBACC- VI Simposio taller Internacional de la Red CYTED Estrategias Integradas de Adaptación y Mitigación a Cambio Globales CYTED.
- LEIBOVICH DE FIGUEROA, N. y ROUSSOS, A. 2009. Aportes de la Psicología Ambiental al cambio climático. En: "Desafíos del cambio climático y global en Argentina". Ed. EUDEBA. pp. 129-130.
- LEVY-LEBOYER C. 1985. Psicología y medio ambiente Ediciones Morata Madrid.
- VOZMEDIANO SANZ, L. y SAN JUAN GUILLEN, C. 2005. Escala Nuevo Paradigma Ecológico: propiedades psicométricas con una muestra española obtenidas a través de Internet. Medio ambiente y comportamiento humano 6 (1), 37-49 Editorial Resma 2005 España



# Identificación y evaluación de las presiones sobre los sistemas naturales y antrópicos.





# INTENSIFICACIÓN GANADERA Y VALORACIÓN DEL FÓSFORO COMO FACTOR DE PRESIÓN AL AMBIENTE

## *Livestock intensification and phosphorus assessment as environmental pressure factor*

Susana Beatriz Gil<sup>1\*</sup>, María Alejandra Herrero<sup>1</sup> y María Cristina Saucedo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias. Veterinarias, UBA. Chorroarín 280, Buenos Aires (1427)

, <sup>2</sup>INTA. Alsina 1407 - 6to. Piso. Of. 606, Buenos Aires (1088)

\*sgil@fvet.uba.ar

### RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la acumulación/depleción de fósforo en sistemas de producción de carne con diferentes grados de intensificación, a través de indicadores. Mediante encuestas se recopiló información de 12 establecimientos de la región pampeana, de ellos cuatro feedlots (FL); cuatro extensivos con suplementación (ES); cuatro extensivos sin suplementación (E)). Se calcularon distintos indicadores de uso de fósforo: “Balance Predial” (BPP): diferencia entre ingreso de P (animales, alimentos y fertilizantes) y egreso de P (animales) del establecimiento; “Balance Corrales FL” (BCP): diferencia entre ingreso de P (animales, alimentos externos y del propio establecimiento) y egreso de P (animales) e “Índice Ingreso/Egreso” (I/E): cociente que señala cuántas veces el ingreso de P supera su salida por animales egresados. Los valores de BPP promedios para E y ES fueron -0.71 y 0.37 kg P/hectárea promedio/año, respectivamente, mostrando como alimentos introducidos al predio (ES) reponen parte del P egresado en producto (vacunos vendidos). Al ser pastoriles, una proporción restituirá P en potreros de pastoreo. En FL, el promedio de BCP fue 735.9 kg P/hectárea corrales/año. Aquí, la concentración de vacunos incrementa considerablemente la carga de P por unidad de superficie. Los promedios de I/E para E, ES y FL fueron 0.34; 2.16 y 4.07, respectivamente; destacando que el ingreso de alimentos al predio (SE y FL) aportó excedentes de P al sistema. La intensificación ganadera puede derivar, así, en acumulación de nutrientes por concentración de animales en sectores como corrales (contaminación), tanto como en depleción (degradación) en aquellos sistemas netamente extensivos. En ambos casos, puede transformarse en un factor de presión sobre el medio.

**Palabras clave:** intensificación ganadera, balance de fósforo, degradación, contaminación, factor de presión.

### SUMMARY

The aim was to evaluate phosphorus (P) accumulation / depletion in beef cattle systems with different intensification levels, through indicators. Information was taken from 12 farms in the Pampean Region (four feedlots –FL–; four extensive farm with supplements –ES– and four extensive farms without supplements –E–), by means of surveys. Different Phosphorus Use indicators were calculated: “Farm Gate Balance” (BPP): difference between phosphorus input (animals, feed and fertilizers) and phosphorus output (animals) from the farm; “Pen Balance FL” (BCP): difference between phosphorus input (animals, external feed and farm feed produced) and phosphorus output (animals) and “Input / Output Index “ (I/E): quotient that points out how many times the P inputs exceeds its output through animals leaving the system. The mean BPP values

were  $-0.71$  and  $0.37 \text{ kg P. ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$  for E and ES, respectively, showing that introduced feed to the farm (ES) restores part of the P leaving with the produce (sold cattle). Since these systems are based on pastures, a proportion will return P to the grazing fields. The mean BCP value for FL was  $735.9 \text{ kg P. pen ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ . Beef cattle concentration increments the P burden per unit area considerably. The I/E mean value for E; ES and FL were 0.34; 2.16 and 4.07, respectively, highlighting that feed input (SE and FL) provides excess P to the system. Livestock intensification can contribute to nutrient accumulation due to animal concentration in pens (contamination risk) or depletion (degradation risk) in strict extensive systems. In both cases, the P status may become an environmental pressure factor.

**Key words:** livestock intensification, phosphorus balance, degradation, contamination, pressure factor.

## INTRODUCCIÓN

La actividad agropecuaria es una de las acciones humanas que inflige mayor impacto al ambiente (cultivos de grano, ganadería extensiva e intensiva y actividad forestal). La ganadería puede extraer excesiva cantidad de nutrientes del suelo, y sin una adecuada reposición producir una degradación del mismo. La producción animal intensificada requiere de insumos externos, entre ellos fertilizantes y suplementos alimenticios para alcanzar y mantener altas productividades, los cuales pueden convertirse en contaminantes de suelos y cuerpos de agua superficial y subterránea (Viglizzo *et al*, 2002).

El grado de intensificación de los sistemas de producción de carne en Argentina es variable. La intensificación de cualquier sistema, desde el punto de vista de la teoría económica, supone la maximización de la productividad del factor más escaso, acompañado del aumento de los otros factores. En ganadería implica un aumento de la cantidad de carne producida, de los insumos requeridos, de la rotación del capital (Upton, 1997; Viglizzo y Roberto, 1997), y puede estar influenciada por las características del ambiente y por los niveles de precios, tanto de los insumos como de los productos vendidos, los cuales están afectados, a su vez, por la ubicación del establecimiento en relación a los mercados (Upton, 1997).

Una de las formas más frecuentes de definir el grado de intensificación de los sistemas ganaderos es en términos de unidades ganaderas –cabezas o equivalentes– y cantidades de insumos asociados, por unidad de superficie. Desde este punto de vista, la producción de carne vacuna sobre forraje (natural y/o implantado) califica como “sistema extensivo de producción”, mientras que el engorde a corral o feedlot, como “sistema intensivo”. Por lo tanto, la intensificación en producción vacuna implica un incremento en el uso de los recursos (evaluados a nivel energético y a nivel de proveedores de nutrientes minerales) con el correspondiente aumento de carne producida por hectárea (Upton, 1997). La intensificación involucra un aumento en la dependencia del uso de granos y suplementos alimenticios, tanto en los sistemas de pastoreo extensivos, netamente ganaderos, como en los mixtos, donde existe una integración con la actividad agrícola. Estos sistemas mixtos permiten utilizar provechosamente las interacciones entre la ganadería y los cultivos agrícolas, a través de manejar los flujos de nutrientes y sus balances finales (Steinfeld *et al.*, 1996; Watson y Atkinson, 1999). En este contexto y considerando esta integración, se pueden definir tres tipos principales de sistemas productivos según el nivel de intensificación: Sistema extensivo de pastoreo; Sistema semi-intensivo; y Sistema intensivo o industrial (engorde a corral o feedlot) (Mearns, 1997; Steinfeld *et al.*, 1997; Upton, 1997;

Nicholson *et al.*, 2001; Dahlin, *et al.*, 2005). El Sistema Extensivo implica pastoreo directo de pastizales naturales y/o implantados (pasturas, verdes), con ninguna o muy limitada integración con cultivos agrícolas. El Sistema Semi-intensivo está basado en el pastoreo directo con suplementaciones a base de granos y voluminosos (henos, silajes). Suele integrarse con agricultura (sistema mixto), donde la ganadería cumple un rol importante en el ciclo de la energía y los nutrientes, y la rotación de cultivos con pasturas a base de leguminosas reduce la erosión y ayuda a recomponer algunos nutrientes del suelo. El Sistema intensivo de engorde a corral o feedlot está basado en insumos externos, perdiéndose la integración más equilibrada entre ganado y ambiente. El estiércol producido se convierte en un subproducto problemático que no encuentra superficie suficiente en el predio para ser reciclado como abono.

En los sistemas ganaderos, el componente animal, interacciona con otros componentes e interviene en la redistribución de los nutrientes en la superficie, restituyendo al suelo entre un 75% y 95% de los nutrientes de la ingesta a través de sus deyecciones, remanente de forraje sin comer, o por pérdida durante la ingesta (Tamminga, 1996; van Horn *et al.*, 1996; Viglizzo y Roberto, 1997; White *et al.*, 2001; Díaz Zorita y Barraco, 2002). El sistema extensivo con pastoreos continuos produce traslados de fertilidad a través de una distribución de deyecciones desparejas, ya que los animales no pastorean en forma homogénea los potreros.

Los nutrientes ingresan y salen de los establecimientos agropecuarios por diferentes vías, además de sufrir transferencias internas. La forma más simple de estimar las cantidades retenidas o perdidas por dichos sistemas, es a través de los “balances de nutrientes” (Atkinson y Watson, 1996; 1999; Schröder, *et al.*, 2003). Los mismos permiten conocer el potencial que tienen los nutrientes, en un período de tiempo, para ser retenidos y ciclados dentro del propio sistema de producción agropecuario, valorar la magnitud del costo económico de dichos nutrientes en la producción y estimar el costo ambiental (riesgo de contaminación y de transferencia de dichos nutrientes fuera del sistema).

Para conocer las diferentes relaciones entre los subsistemas que componen un sistema productivo, e identificar el que mayor peso tiene en el balance de nutrientes, se recurre a la realización de lo que se denomina Balance Predial del establecimiento. El mismo permitirá realizar las recomendaciones sobre cuáles serían las mejores estrategias globales de mejoramiento a partir de la comprensión del ciclado de nutrientes (Dou *et al.*, 1998; Koelsh y Lessoing, 1999; Spears *et al.*, 2003 a;b). Las investigaciones para calcular este tipo de balances han sido realizadas con modelos computacionales predictivos (Wang *et al.*, 2000), por casos de estudio –1 ó 2 establecimientos- (Dou *et al.*, 1996; Dou *et al.*, 1998; Klausner *et al.*, 1998) y recién, en los últimos años, a través de encuestas a un número más representativo de predios con producción lechera (Spears *et al.*, 2003 a; b) y de producción de carne bovina y porcina en confinamiento (Koelsh y Lessoing, 1999). La información recabada sirve para entender la dinámica del Nitrógeno y Fósforo dentro de cada establecimiento considerado como una unidad, cuantificando todos los rubros a través de los cuales ingresan y egresan estos nutrientes. A partir de distintos elementos de las ecuaciones de cálculo de balance y/o de otros componentes de los sistemas agropecuarios, se han construido algunos indicadores relacionados con el manejo de los nutrientes a escala de predio y/o de sectores específicos (*e.g.* pistas de alimentación) (Halberg, *et al.*, 1999; Hass, *et al.*, 2001; Schröder, *et al.*, 2003; Gil, *et al.*, 2006; Herrero, *et al.*, 2005, 2006a y 2006b; Olesen, *et al.*, 2006;). En este último caso se puede estimar como la transferencia en el mismo predio, puede degradar el suelo en un área determinada (superficies de cosecha de grano/forraje) y contaminar suelo y/o agua en aquellos sectores donde son alimentados

los animales (áreas de concentración) (Koelsh y Lesoing, 1999; Gil, *et al.*, 2006; Herrero, *et al.*, 2005; 2006c).

Los componentes presentes en las excretas pueden ingresar a los cuerpos de agua por diferentes vías. El P, en forma de fosfatos, es uno de los contaminantes más frecuentes de aguas superficiales. Su llegada por escurrimiento produce eutrofización en el ecosistema acuático (disminución en la concentración de oxígeno), provocando mortandad de peces (Haygarth, *et al.*, 2000). Sus fuentes principales son los fertilizantes y los desechos animales. En recientes estudios se ha demostrado la presencia de P en aguas subterráneas por excesiva aplicación de estiércol o por uso indiscriminado de fertilizantes (Rao y Rajendra, 2004). En los sistemas ganaderos, la identificación de los flujos de nutrientes en el predio resulta fundamental para aplicar estrategias de manejo de la alimentación y de los residuos orgánicos (estiércol principalmente). Estas estrategias permitirán reducir la transferencia y pérdida de fósforo, mejorando los índices de conversión nutricionales y disminuyendo los problemas ambientales de contaminación del agua y suelos (Atkinson y Watson, 1996; Dou *et al.*, 1996; Díaz Zorita y Barraco, 2002;).

El objetivo del trabajo fue evaluar la acumulación/depleción de fósforo en sistemas de producción de carne con diferentes grados de intensificación, a través de indicadores.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se recopiló información agroecológica de 12 establecimientos de la región pampeana, según el grado de intensificación definido por las unidades ganaderas por unidad de superficie y el ingreso de insumos asociados. Fueron seleccionados cuatro feedlots (FL); cuatro establecimientos extensivos con suplementación (ES) y cuatro extensivos sin suplementación (E). Se realizó una reunión informativa con productores, a través de las asociaciones que los agrupan, para explicarles propósitos del estudio y detallar el tipo de información necesaria. Luego, se contactaron personalmente los productores que habían aceptado participar, los cuales fueron finalmente entrevistados, completando las encuestas. Las mismas se diseñaron con el objetivo de recolectar la máxima información confiable en cada uno de los predios (Gárgano *et al.*, 2001), para el período 2004-2005 y 2005-2006, con el fin de caracterizar los sistemas según: uso del suelo, actividades agropecuarias desarrolladas, estructura de los rodeos y sus parámetros productivos, recursos forrajeros, cultivos de cosecha y rendimientos, e insumos utilizados para las distintas actividades agro-ganaderas.

La información obtenida permitió calcular la productividad de los sistemas y realizar las estimaciones de los indicadores de Uso de Fósforo: 1- “Balance Predial” (BPP): diferencia entre ingreso de P al establecimiento a través de animales, alimentos y fertilizantes y el egreso de P del mismo a través de la salida de animales; 2- “Balance Corrales FL” (BCP): diferencia entre ingreso de P a los corrales de engorde del feedlot por animales, alimentos externos y alimentos que provienen de otros sectores del mismo predio y egreso de P de los corrales por salida de los animales del mismo y 3- “Índice Ingreso/Egreso” (I/E): cociente entre el ingreso y el egreso de P (ingreso P/egreso P), lo cual permite evaluar en cuántas veces el ingreso de P al sistema considerado supera a la salida del mismo a través de los animales egresados (Koelsh y Lesoing, 1999; Viglizzo, 2007). Los valores bibliográficos de referencia sobre contenido de nutrientes están expresados sobre la base de materia seca (INTA, 1995; USDA, 1992; NRC, 1996; Nosetti *et al.*, 2002).

Dentro de los descriptores productivos se utilizaron la Producción de carne y la Carga Animal. La Producción de carne fue expresada en Kg. ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (para E y ES) y en Kg. ha. corral<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (para FL). Para expresar la Carga animal se decidió transformar las



cabezas de ganado a una unidad de requerimientos. La misma permite homogenizar las distintas categorías según sus requerimientos energéticos, los cuales dependen del peso vivo y estado fisiológico (ganancia diaria de peso y edad de preñez/etapa de lactación) para su comparación. Dicha unidad se conoce como “Equivalente vaca” (Cocimano *et. al.*, 1975) y se expresó en EV. ha.<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (para E y ES) y en EV.ha. corral<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (para FL). Para los predios con sistemas E y ES, se consideró la hectárea promedio de todo el establecimiento.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 figuran los Descriptores productivos y en la Tabla 2, los Indicadores de Uso de Fósforo, para los 12 predios en estudio, expresados por su promedio y valores máximos y mínimos.

Tabla 1. Descriptores productivos para los 12 predios en estudio, expresados por su promedio y valores máximos y mínimos.

Sistema		Producción de carne		Carga animal	
		Kg/ha/año	Kg/ha. Corral/año	EV/ha/día	EV/ha corral/ día
E (n=4)	Promedio	130.25	-	1.015	-
	Min	: 110	-	0.97	-
	Max	: 141	-	1.08	-
ES (n=4)	Promedio	47	-	0.56	-
	Min	: 28	-	0.27	-
	Max	: 65	-	1.10	-
FL (n=4)	Promedio	-	33708.25	-	168.63
	Min	: -	6000	-	87.84
	Max		55500		333.66

Los sistemas extensivos (E) se caracterizaron porque el único ingreso de P al predio resultó de los fertilizantes que se utilizaron en dos de los cuatro predios en pequeñas superficies para verdes de verano (principalmente sorgo) y pasturas en implantación, dando una relación de 0.25 y 0.55 kg P/ha promedio de todo el establecimiento, respectivamente. No se registraron ingresos de alimentos suplementarios. Los extensivos con suplementación (SE) se caracterizaron por ingresar proporciones variables de alimentos basados en grano de maíz y henos de alfalfa o de pasturas mixtas de gramíneas y leguminosas, pero no utilizaron fertilizantes. Los cuatro predios ingresaron a través de los suplementos, entre 0.085 y 2.50 kg P/ha promedio de todo el establecimiento. En los cuatro sistemas de engorde a corral se utilizaron raciones a base de grano de maíz, con silo de maíz o de sorgo y harina de soja o afrechillo de trigo, representando un ingreso de entre 174.75 y 1680.03 kg P/ha de corral.

Tabla 2. Indicadores de Uso de Fósforo para los 12 predios en estudio, expresados por su promedio y valores máximos y mínimos.

Sistema	Balance de Fósforo			Índice Ingreso / Egreso	
	Predial Kg P/ha/año	Corral Kg P/ha. Corral/ año		Predial Kg P	Corral Kg P
E	Promedio	-0.71	-	0.34	-
(n=4)	Min	:(-1.04):	-	0.12	-
	Max	(-0.19)		0.75	-
ES	Promedio	0.372	-	2.16	-
(n=4)	Min	:(-0.72):	-	0.11	-
	Max	2.07		5.87	-
FL	Promedio	-	735.87	-	4.065
(n=4)	Min	:-	132.15	:-	3.08
	Max		1381.83		5.63

La producción de carne más elevada en los E coincide con su mayor carga animal, comparado con los SE. Esta situación en los E, junto con el escaso ingreso de P, llevó a valores de BPP negativos (degradación). Los valores obtenidos para BPP= -0.71 Kg P. ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, si bien resultan menos extractivos a los reportados como valores medios para la región pampeana BPP= -1.4 Kg P. ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Viglizzo, 2007) y a los reportados para Cuba por Crespo y colaboradores (-6 kg P/ha), sugieren una problemática similar en lo referente a la falta de reposición del nutriente egresado para estos sistemas extensivos (Crespo et al., 1998). Costa y García evaluaron también en Argentina un pastizal de la Pampa Deprimida, (Chascomús), con pastoreos rotativos con cargas elevadas y tratamientos con fertilización (N y P), donde se manifestaron balances negativos para ambos elementos en los no fertilizados (pérdida de nutrientes del sistema), y en el fertilizado solo negativo para N, principalmente debido a su exportación vía animal en pie (Costa y García, 1997). Así, la mayor carga animal y la no restitución de nutrientes al sistema vía fertilización, torna a la actividad ganadera, aunque sea pastoril, en degradante de los nutrientes considerados.

Cuando se evalúa el valor del índice I/E en SE, se observa un mayor valor, comparado con E, sugiriendo como los alimentos introducidos al predio reponen parte del P egresado en el producto (vacunos vendidos). Para el caso de los corrales de engorde se observa la alta carga animal (concentración de cabezas), con la consecuente altísima producción de carne por unidad de superficie y del Balance de P. El valor de I/E es el mayor de todos, reflejo del tipo de alimentación, basado en insumos externos. El rango de valores encontrado en este trabajo (I/E de 0.34 a 4.065) concuerda con los datos obtenidos por Koelsh y Lesoing, (1999) (I/E de 0.6 a 4.7/1) para 17 establecimientos con engorde a corral, resultado del trabajo de mayor alcance sobre sistemas de producción de carne vacuna en confinamiento. Los autores observaron a partir del análisis del mismo indicador, que la ocurrencia de balances de P neutros o negativos en algunos establecimientos con baja carga de animales en relación a la superficie de cultivo, tenían como origen la falta de reposición del P por fertilización artificial, necesaria para compensar la salida de dicho nutriente a través de los granos.

## CONCLUSIONES

Los balances resultaron un buen indicador para evaluar el manejo ambiental de los excedentes de fósforo. Los valores obtenidos para los sistemas extensivos con suplementación, comparado con los extensivos, muestran como alimentos introducidos al predio reponen parte del P egresado en el producto vendido. Al ser ambos de base pastoril, una proporción restituirá P en potreros de pastoreo. En los Feedlots señala, en cambio, cómo la concentración de vacunos incrementa considerablemente la carga de P por unidad de superficie. Los valores del Índice I/E para E, ES y FL destacan cómo el ingreso de alimentos a los predios aportó excedentes de P a los distintos sistemas.

La intensificación ganadera puede derivar, así, en acumulación de nutrientes por concentración de animales en sectores como corrales (contaminación), tanto como en depleción (degradación) en aquellos sistemas netamente extensivos. En ambos casos, puede transformarse en un factor de presión sobre el medio.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el financiamiento de los Proyectos V050 y V015 Programa UBACyT (Universidad de Buenos Aires). Los autores quieren agradecer a los productores que respondieron las encuestas.

## BIBLIOGRAFIA

- ATKINSON, D. y Watson, C.A. 1996. The environmental impact of intensive systems of animal production in the lowlands. *Anim. Sci.* 63: 353 - 361.
- COCIMANO, M.; LANGE, A. y MENVIELLE, E. 1975. Estudio sobre equivalencias ganaderas. *Producción Animal*, 4: 161-190.
- COSTA, J.L. y GARCÍA, F.O. 1997. Respuesta de un pastizal natural a la fertilización con P y N en un natracuol. *RIA*, 28 (2): 31- 9.
- CRESPO, G.; CASTILLO, E.; RODRIGUEZ, I. 1998. Estudio del reciclaje de N, P y K en dos sistemas de producción de vacunos de carne en pastoreo. En Memorias III taller Internacional silvopastoril realizado del 23-27 de noviembre, Cuba, pp. 234 - 236.
- DAHLIN, A.S.; EMANUELSSON, U. y MCADAM, J.H. 2005. Nutrient management in low input grazing-based systems of meat production. *Soil Use and Management* (21): 122 - 131.
- DÍAZ ZORITA, M. y BARRACO, M. 2002. ¿Cómo es el balance de P en los sistemas pastoriles de producción de carne en la región pampeana?. Disponible en la World Wide Web [15 de Marzo de 2005]. [www.elsitioagricola.com/articulos/diazzorita/Balance](http://www.elsitioagricola.com/articulos/diazzorita/Balance)
- DOU, Z.; KOHN, R.A.; FERGUSON, J.D.; BOSTON, R.C. y NEWBOLD, J.D. 1996. Managing nitrogen on dairy farms: An integrated approach I. Model description. *J. Dairy Sci.* 79 (11): 2071-2080.
- DOU, Z.; LANYON, L.A.; FERGUSON, J.D.; KOHN, R.A.; BOSTON, R.C. y CHALUPA, W. 1998. An integrated approach to managing nitrogen on dairy farms: evaluation of farm performance using the Dairy Nitrogen Planner. *Agron. J.* 90 (5): 573-581.
- GARGANO, A.O.; ADÚRIZ, M.A.; SALDUNGARAY, M.C; CHIMENO, P. y CONTI, V.P. 2001. Sistemas agropecuarios extensivos del Partido de Saavedra. *Rev. Arg. Prod. An.* 21 (1): 53-65.
- GIL, S.B.; ORLANDO, A.A. y HERRERO, MA 2006. Indicadores de Riesgo Ambiental en Sistemas agropecuarios con Engorde a Corral. *Rev. Arg. Prod. An.*, 26 (1): 330-332.

- HAAS, G.; WETTERICH F. y KÖPKE, U. 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, (83): 43 - 53.
- HALBERG, N. 1999. Indicators of resource use and environmental impact for use in a decision aid for Danish livestock farmers. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, (76): 17 - 30.
- HAYGARTH, P.M.; HEATWAITE, A.L.; JARVIS, S.C. y HARROD, T., 2000. Hydrological factors for phosphorus transfer from agricultural soils. *Adv. Agron.* 69: 153-178.
- HERRERO, M.A., GIL, S.B.; FLORES, M.C.; ORLANDO, A.A.; SARDI, G.; CARBÓ, L.I. y GONZALEZ PEREYRA, A.V. 2005. Balances de nutrientes en sistemas lecheros. 2. Excedentes de Nitrógeno y Fósforo en sector de ordeño. *Rev. Arg. Prod. An.*, 25(1): 279 - 280.
- HERRERO, M.A.; GIL, S.B.; SARDI, G.M. y BEARZI, C. 2006a. Balances e Indicadores de utilización de nitrógeno y fósforo, en Sistemas Estabulados y Pastoriles de producción de leche. (*Comunicación*). *Rev. Arg. Prod. An.*, 26, (1): 334-335.
- HERRERO, M.A.; GIL, S.B.; FLORES, M.C. y CARBÓ, L.I. 2006b. Estimación de la fijación simbiótica de nitrógeno mediante diferentes metodologías en tambos pastoriles. *Rev. Arg. Prod. An.*, 26, (1): 332-333.
- HERRERO, M.A.; GIL, S.B.; SARDI, G.M.; FLORES, M.C.; LI ARBÓ, C. y ORLANDO, A.A. 2006c. Transferencia de nutrientes del área de pastoreo a la de ordeño en tambos semiextensivos en Buenos Aires, Argentina. *InVet*, 8 (1): 23-30.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA, 1995. Req Nov. INTA Balcarce. Soporte Informático.
- KLAUSNER, S.D.; FOX, D.G.; RASMUSSEN, C.N.; PITT, R.E.; TYLUNTKI, T.P.; WRIGHT, P.E.; CHASE, L.E. y STONE, W.C. 1998- Improving dairy farm sustainability I: An approach to animal and crop nutrient management planning. *J. Prod. Agric.* 11: 225-223.
- KOELSCH, R. y LESOING, G. 1999. Nutrient balance on Nebraska livestock confinement systems. *J. Anim. Sci.* 77 (2): 63 -71.
- MEARNS, R, 1997. Livestock and environment: potential for complementarity. WAR/RMZ 88. 1997/2. FAO. Roma, Italia.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 1996. (Eds. National Research Council). *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Seventh Revised Edition National Academy Press, Washington D.C. USA, pp. 242.
- NICHOLSON, C.H.F. 2001. Environmental Impacts of Livestock in the Developing World. March. Council for Agricultural Science and Technology, Animal Agriculture and Global Food Supply, Task Force Report No. 135 (Ames, Iowa: Council for Agricultural Science and Technology, 1999). EE. UU.
- NOSETTI, L.; HERRERO, M.A.; POL, M.; MALDONADO MAY, V.; GEMINI, V.; ROSSI, S.; KOROL, S. y FLORES, M., 2002. Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros, parte II. Calidad de efluentes y eficiencia de los procesos de tratamiento *InVet*, 4 (1): 45-54.
- OLESEN, J.E.; SCHELDE, K.; WIESDE, A.; WEISBJERG, M.R; ASMAN, W.A.H. y DJURHUUS, J. 2006. Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112: 207 - 220.
- RAO, N.S. y RAJENDRA, P. 2004. Phosphate pollution in the groundwater of lower Vamsadhara river basin; India. *J. Environ. Geol.* 31 (1-2):117-122.

- SCHRÖEDER, J.J.; AARTS, H.F.M.; TEN BERGE, H.F.M.; VAN KEULEN, H. y NEETESON, J.J. 2003. An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *Europ J. of Agronomy*, (20): 33 - 44.
- SPEARS, R.A.; KOHN, R.A. y YOUNG, A.J. 2003a. Whole-farm Nitrogen Balance on Western Dairy Farms. *J. Dairy Sci.* 86 (12): 4178-4186.
- SPEARS, R.A.; YOUNG A.J. y KOHN, R.A. 2003b. Whole-farm Phosphorus Balance on Western Dairy Farms. *J. Dairy Sci.* 86 (2): 688-695.
- STEINFELD, H.; DE HAAN, C. y BLACKBURN, H.1997. Options to adress livestock-environment interactions. WAR/RMZ 88/1. FAO. Roma, Italia.
- TAMMINGA, S. 1996. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. *J. Animal Sci.*, (74): 3112 - 3124.
- UPTON, M. 1997. Intensification or extensification: which has the lowest environmental burden?. WAR/RMZ. N° 88. FAO. Roma, Italia.
- USDA, NATIONAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE, 1992. National Engineering Handbook (NEH): Part 651 - Agricultural Waste Management Field Handbook [online] Chap. 6: Role of plants in waste management. Disponible en la World Wide Web: <ftp://ftp.ftw.nrcs.usda.gov/pub/ awmfh/chap6.pdf> [20 de Julio 2003].
- VAN HORN, H.H.; NEWTON, G.L. y KUNGLE, W.E. 1996. Ruminant nutrition from an environmental perspective: factors affecting whole-farm nutrient balance. *J. Animal Sci.*, 74, 3082 - 3102.
- VIGLIZZO, E.F. y ROBERTO, Z. 1997. El componente ambiental en la intensificación ganadera. *Rev. Arg. de Prod. An.*, 17, (3): 271 – 292.
- VIGLIZZO, E.F.; PORDOMINGO A.J.; CASTRO M.G. y LÉRTORA, F. 2002. (Eds. INTA) *La sustentabilidad ambiental del agro pampeano*. Programa Nacional de Gestión Ambiental Agropecuaria, pp. 84.
- VIGLIZZO, E.F., 2007. Desafíos y oportunidades de la expansión agrícola en Argentina. Cap. 2: 12 – 28. En: *Producción agropecuaria y medio ambiente*. Coordinador U. Martínez Ortiz.
- WANG, S.J.; FOX, S.G.; CHERNEY, D.J.R.; CHASE, L.E.y TEDESCHI, L.O. 2000. Whole-herd optimization with the Cornell Net Carbohydrate and Protein System. III. Application of an optimization model to evaluate alternatives to reduce nitrogen and phosphorus mass balance. *J. Dairy Sci.* 83: 2160-2169.
- WATSON, C.A. y ATKINSON, D. 1999. Using nitrogen budgets to indicate nitrogen use efficiency and losses from whole farm systems: a comparison of three methodological approaches. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, (53): 259 - 267.
- WHITE, S.L.; SHEFFIELD, R.E.; WASHBURN, S.P.; KING, L.D. y GREEN J.T. 2001. “Spatial and time distribution on dairy cattle excreta in an intensive pasture system”. *Journal of Environmental Quality*, 30: 2180 - 2187.



# DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN ESTACIONAL DE METANO EN EL CULTIVO DE ARROZ. ETAPA EXPLORATORIA.

*Determination of seasonal methane emission flux rate in paddy rice fields.  
Exploratory stage.*

**Maciel, Susana Noemí<sup>1\*</sup> ; Sanabria, María Cristina<sup>1</sup> ; Kraemer, Alejandro Faustino<sup>2</sup>; Marín, Alfredo<sup>2</sup>; Kurtz, Ditmar Bernardo<sup>3</sup>; Ligier, Héctor Daniel<sup>3</sup>.**

<sup>4</sup> Laboratorio de Suelos y Aguas. Estación Experimental Agropecuaria (E.E.A) Corrientes del INTA. CC 57. Ruta 12 Km.1008. CP 3400.

<sup>2</sup> Proyecto Arroz. E.E.A. Corrientes. CC 57. Ruta 12, Km 1008. CP: 3400.

<sup>3</sup> Grupo Recursos Naturales. E.E.A. Corrientes. CC 57. Ruta 12, Km 1008. CP:3400.

\*smaciel@corrientes.inta.gov.ar

## RESUMEN

La concentración de metano (CH<sub>4</sub>) en la atmósfera en los últimos dos siglos ha aumentado en más de 140%. Entre las actividades antropogénicas, consideradas fuentes de emisión de gas CH<sub>4</sub>, se encuentran, por ejemplo la fermentación entérica, manejo de estiércol, quema a campo de residuos agrícolas y la producción de arroz.

El arroz en Argentina se realiza bajo inundación, siendo Corrientes una de las principales provincias productora de arroz, sembrándose unas 80.000 has por año. En estas condiciones la descomposición anaeróbica de la materia orgánica genera CH<sub>4</sub> que difunde a la atmósfera a través de la planta y el suelo.

Los objetivos propuestos en este trabajo fueron, determinar el factor de emisión de CH<sub>4</sub> para arroz en Corrientes y comparar la emisión producida por la planta y el suelo entrelíneo.

En parcelas experimentales y mediante la instalación de 12 campanas se evaluaron 2 tratamientos, con y sin planta de arroz, de seis repeticiones cada uno. Se realizaron cinco lecturas en cada etapa de crecimiento del cultivo; entre las 8:30 y 18:30hs. Las determinaciones se efectuaron en seis estadios fenológicos, macollaje, floración y maduración (inicio y final). Se recurrió a la técnica de cámara cerrada. El gas fue colectado utilizando jeringa cromatográfica y analizado en Cromatógrafo Hewlett Packard 5890 serie II.

Las máximas emisiones se produjeron al inicio de floración (24,45 g. m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) e inicio de maduración (14,32 g. m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>). En el ciclo evaluado, el factor de emisión estacional de CH<sub>4</sub> para el cultivo de arroz fue 13,42 g. m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>

---

\* Abarca únicamente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), cuyas emisiones están contempladas en la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCC). Estos GEI han sido ponderados aplicando sus potenciales de calentamiento mundial (PCM) a cien años, y utilizando valores coherentes con los notificados en el marco de la CMCC. [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int)

No se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos, es decir, el CH<sub>4</sub> es liberado a la atmósfera tanto por la planta, como por el suelo desnudo.

A futuro se pretende evaluar la variabilidad en la emisión de CH<sub>4</sub> en distintos tipos de manejo de suelos.

**Palabras clave:** metanogénesis, cambio climático, prácticas de cultivo, gases de efecto invernadero.

## SUMMARY

Atmospheric methane (CH<sub>4</sub>) concentration increased more than 140% in the world, over the last two centuries. Livestock systems, fires and rice fields, among others, are considered major emitters of greenhouse gases.

Paddy rice is the most important flooded crop of the Corrientes Province (Argentina). Around 80,000 ha are cultivated every year. Organic matter and anaerobic conditions result in methane formation, which escapes to the atmosphere through rice plants and soil. In this project we studied the seasonal methane fluxes (g/m<sup>2</sup>) on both, rice plants and flooded soil among rice lines. Two treatments were placed to compare the emissions fluxes, with and without rice plants and six replicates. Methane was collected by means of twelve static closed chambers. Five measurements were taken from 8:30 AM to 6:30 PM, at six different crop stages, starting from panicle differentiation to ripening and harvesting. Air samples were collected with polystyrene syringes and were analyzed by gas chromatography (Hewlett Packard 5890 series II). Maximum emission peak took place at the beginning of the blossom period (24.45 g m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>) and at the beginning of ripening (14.32 g m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>). Considering the whole cycle the CH<sub>4</sub> average emission factor was 13.66 g m<sup>-2</sup>.

No significant differences were among treatments were found, CH<sub>4</sub> is liberated either by the rice plants and the soil lines among plants. Further research is needed to compare CH<sub>4</sub> emission rates from different management systems.

**Key words:** methanogenesis, climate change, management practice, greenhouse gases.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura y la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones antropogénicas de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) a la atmósfera (Primavesi O. *et al.* 2004). Dentro de la gama de gases a los que se les atribuye efecto invernadero, se considera el CO<sub>2</sub> el más abundante y el que actualmente tiene un mayor aporte al incremento del calentamiento global. Hoy las concentraciones de metano son inferiores a las de CO<sub>2</sub>, sin embargo posee un efecto 21-30 veces más contaminante con respecto al CO<sub>2</sub> considerándose que en el tiempo el metano puede ser predominante (McCaughy W. *et al.* 1997, 1999).

Entre 1970 y 2004, el aumento más importante de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) proviene de los sectores de suministro de energía, transporte e industria, mientras que la vivienda y el comercio, la silvicultura (incluida la deforestación) y la agricultura han crecido más lentamente (IPCC. 2007). Las fuentes de GEI en 2004 aparecen indicadas en la Figura 1, clasificadas por sectores.



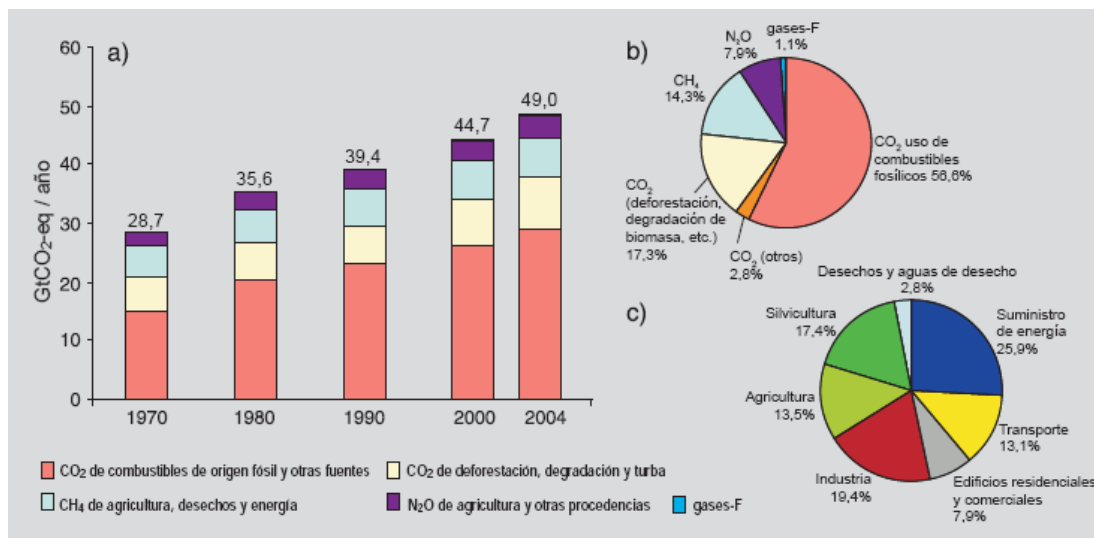


Figura 1. Emisiones mundiales de GEI antropógenos. Fuente: IPCC. Cambio Climático 2007. Informe de síntesis

- a) Emisiones anuales mundiales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004\* b) Parte proporcional que representan diferentes GEI antropógenos respecto de las emisiones totales en 2004, en términos de CO<sub>2</sub> equivalente. c) Parte proporcional que representan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropógenos en 2004, en términos de CO<sub>2</sub> equivalente. (En el sector silvicultura se incluye la deforestación).

Entre las fuentes generadoras de gas CH<sub>4</sub>, se encuentran: la fermentación entérica en animales, los pantanos naturales y el cultivo de arroz bajo inundación. Se presume que las actividades agrícolas contribuyen en un 65% a las emisiones totales de CH<sub>4</sub> antropogénico (Chan y Parkin, 2001).

El cultivo de arroz se estima produce 100 megatoneladas (Mt) de CH<sub>4</sub> por año en el mundo, constituyendo la principal fuente antropogénica (Jacobson M. Z. 2005).

Los suelos aeróbicos son típicamente sumideros del metano atmosférico donde las bacterias metanotróficas oxidan metano a dióxido de carbono. Aparentemente las vías de oxidación de metano y amonio en suelo están relacionadas de tal modo que las actividades agrícolas que tienen un impacto en el ciclo y recambio de nitrógeno, disminuyen en algunos casos la oxidación de metano. Esto se traduce en una contribución al aumento de la concentración de metano atmosférico (Boeckx P. *et al.* 1997).

La emisión de metano por el cultivo de arroz es el resultado neto entre la producción por las bacterias metanogénicas y la oxidación por las bacterias metanotrofas (Macalady J. L. *et al.* 2002). La oxidación puede llevarse a cabo en las interfases óxicas-anóxicas, donde están presentes tanto el metano producido en las zonas anaeróbicas como el oxígeno (Watanabe I. *et al.* 1997).

Este proyecto iniciado en el año 2006, en el marco de la Gestión Ambiental llevada a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Corrientes del INTA, se propuso

evaluar el impacto real que tienen las arroceras en el medio ambiente y su repercusión sobre el cambio climático.

Los objetivos planteados en el presente ensayo fueron: estimar el factor de emisión estacional del cultivo de arroz, bajo riego; y comparar las emisiones producidas tanto por el suelo entrelineo como por la planta de arroz.

Se entiende por factor de emisión estacional integrado, a la media aritmética calculada a partir de los valores de flujo, obtenidos en cada etapa de crecimiento del cultivo de arroz. El flujo de metano puede determinarse durante la etapa en la cual el cultivo se encuentra bajo anegamiento, que comprende aproximadamente dependiendo de la variedad de arroz, unos 100 días.

En Argentina no se cuenta con datos experimentales de emisiones de gases efecto invernadero conforme a nuestro tipo de suelo y clima. Es por ello que se pretende desarrollar capacidades de investigación a fin de evaluar los procesos que rigen los flujos de metano en los campos arroceros, para luego proponer opciones de atenuación, si las hubiera, en beneficio del medio ambiente, la productividad y la sustentabilidad agropecuaria.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se trabajó sobre un sistema de Labranza convencional sin Desecamiento, en parcelas experimentales de 35 x 40mts, en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Corrientes; utilizando para la siembra una sembradora comercial de 12 surcos separados a 17 cm. La fertilización de base consistió en una aplicación simultánea de 150 kg ha<sup>-1</sup> de un formulado NPK 5-30-20 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de KCl. La aplicación de urea fue fraccionada, 150 kg ha<sup>-1</sup> antes del riego y 100 kg ha<sup>-1</sup> aplicados en diferenciación de primordio floral (DPF).

La fecha de siembra fue el 06 de octubre de 2008, la emergencia de la planta de arroz fue el 22 de octubre y el riego se realizó el 12 de noviembre de 2008.

Los muestreos se realizaron en las distintas etapas del crecimiento del cultivo: macollaje, floración y maduración, al inicio y final de cada una de ellas. Se evaluaron dos tratamientos: suelo entrelineo y planta de arroz, donde se instalaron seis cámaras en cada uno de ellos.

Las muestras fueron tomadas a intervalos de 90min, durante 9hs en horario diurno.

Se recurrió a la técnica de cámara cerrada y la cuantificación de gas emitido se determinó por medidas de flujo en las cámaras.

El gas fue colectado en vacuteiners al vacío, los cuales fueron conservados en frío hasta el momento de las lecturas cromatográficas. Las muestras fueron trasladadas a la Facultad de Ciencias Exactas de la UNNE, para su determinación, al finalizar la jornada de muestreo.

Las condiciones del Cromatógrafo de gases Hewlett Packard 5890 serie II fueron: Gas Carrier N<sub>2</sub>, la presión de arrastre fue de 5 PSI, la T° de inyector, horno y detector fueron de 70-70-300 °C respectivamente. Se utilizó un detector FID. Bajo estas condiciones el tiempo de retención del gas metano fue de 0,250.

Se utilizaron gases patrón de 5,2 ppm, 9,8 ppm y 15,2 ppm; elaborados por AGA, División de Gases Especiales, para la construcción de la curva de calibración.

Se evaluaron parámetros físico químicos del suelo (Argiudol acuértico) antes de la siembra y una vez finalizada la cosecha.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los valores de flujo diario obtenidos en cada etapa de crecimiento del cultivo, están reflejados en la Tabla 1.

El valor del factor de emisión estacional (flujo promedio) para el cultivo de arroz fue de  $13,42 \text{ g. m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . Se observaron dos picos de máxima emisión durante el crecimiento del cultivo, uno al inicio de floración ( $24,22 \text{ g.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$ ), etapa en la cual la planta exuda compuestos orgánicos debido a la formación de las panículas, provocando una actividad metabólica más intensa por parte de la flora bacteriana productora de gas metano ; el otro pico se presenta al inicio de maduración ( $15,29 \text{ g.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$ ); la planta en este estadio, disminuye la exudación de componentes orgánicos y utiliza los nutrientes disponibles en la rizosfera para el llenado de granos, consecuentemente la producción de metano decrece (Watanabe A. *et al.* 1999).

Tabla 1. Flujo diario de  $\text{CH}_4$  en las distintas etapas de crecimiento de la planta de arroz y suelo entrelineo.

<b>Etapas de crecimiento del arroz.</b>	<b>Flujo arroz. <math>\text{g.m}^{-2} \text{ día}^{-1}</math></b>	<b>Flujo suelo. <math>\text{g.m}^{-2} \text{ día}^{-1}</math></b>
Inicio de macollaje	6,02	6,48
Final de macollaje	13,34	17,44
Inicio de floración	<b>24,22</b>	24,68
Final de floración	9,25	12,54
Inicio de maduración	<b>15,29</b>	13,35
Final de maduración	12,40	8,95
Flujo estacional [ $\text{g.m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ]	13,42	13,91

Como se evidencia en el Figura 1, el comportamiento del flujo de metano en ambos tratamientos fue similar, ambos presentan incrementos en las etapas de inicio de floración y maduración.

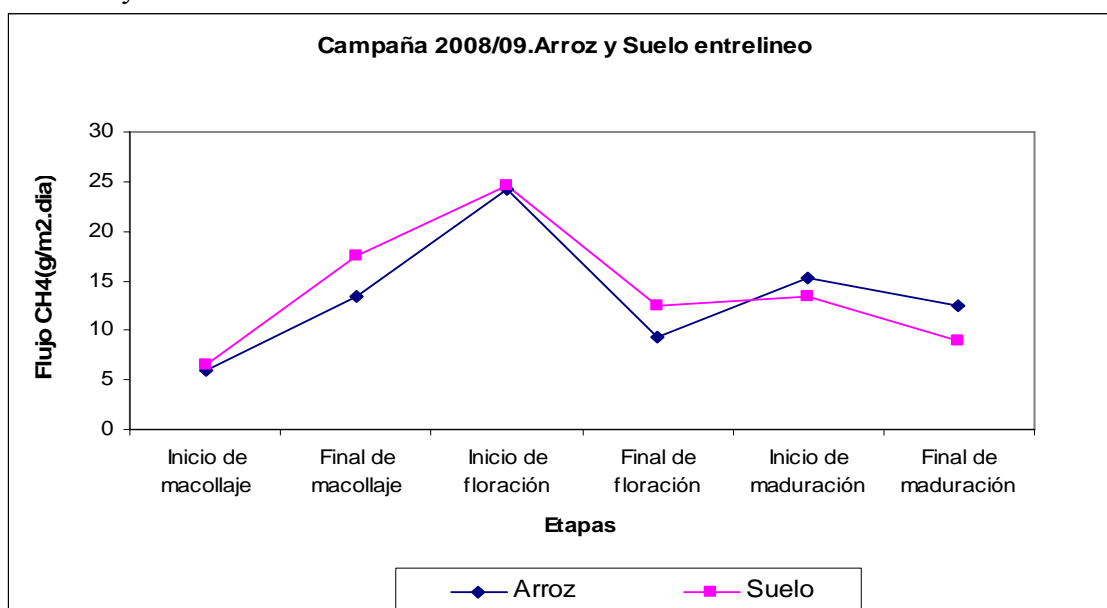


Figura 1. Comparación de las emisiones de  $\text{CH}_4$  en los tratamientos evaluados.

Se realizó un análisis estadístico con un modelo que incluye los efectos de las cámaras y de los tratamientos (arroz y suelo). La prueba F de Snedecor arrojó un valor de  $F= 0.03$ , con una probabilidad  $P= 0.8733$ , por lo que no se evidencian diferencias significativas entre los tratamientos.

## DISCUSIÓN

Hasta el momento no se había cuantificado el flujo de gas metano producido por el cultivo de arroz en nuestra región, caracterizada por un suelo de tipo *Argiudol acuértico* y clima subtropical húmedo.

La utilización de fertilizantes minerales (arroceras de Corrientes), permiten un mejor aprovechamiento de los nutrientes necesarios para el desarrollo del cultivo, ya que son directamente incorporados al suelo como elementos de base (Nitrógeno, Fósforo y Potasio). Los fertilizantes orgánicos de origen vegetal (rastreo de cultivos) o animal (camas de ganado) incorporan además un alto porcentaje de materia orgánica que mediante procesos biológicos (microorganismos) y químicos, duplican las emisiones de metano liberado a la atmósfera (IPCC, 2001).

Es importante destacar que en el estudio exploratorio realizado, bajo las condiciones de fertilización descritas, el valor del factor de emisión estacional para el cultivo de arroz encontrado, está considerablemente por debajo de la media aritmética ( $20 \text{ g.m}^{-2}$ ), estimada por el IPCC.

Consideramos necesario estudiar las emisiones de gas metano en otros tipos de manejo de suelo (rastreo en pie, quema, incorporación de rastreo al suelo, etc.), para encontrar diferencias o similitudes en el factor de emisión por parte del cultivo, a fin de proponer a futuro opciones de mitigación.

## AGRADECIMIENTOS

Al apoyo permanente del Ingeniero D. Ligier, quien me iniciara en el apasionante camino de la investigación. A todos los integrantes del Proyecto Arroz, sin los cuales no podría haber realizado las determinaciones a campo. A C. Esperbent por ayudarme en esta publicación.

## BIBLIOGRAFIA

- BOECKX, P.; VAN CLEEMPUT, O. and VILLARALVO, I. 1997. Methane oxidation in soils with different textures and land use. *Nut. Cycl. Agroecosys.* 49:91-95.
- CHAN, A.S.K. and PARKIN, T.B. 2001. Effect of land use on methane flux from soil. *Journal of Environmental Quality* 30:786-797.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. *Climate change 2001. The scientific basis.* Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambio climático 2007. *Informe de síntesis.* Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza, 104 pp.
- JACOBSON, M. Z. 2005. *Atmospheric Pollution: History, Science and Regulation.* Cambridge University Press, New York.
- JENNIFER, L. MACALADY, J.L.; MCMILLAN, A. M. S.; DICKENS, A. F.; TYLER, S. C. and SCOW, K.M. 2002. Population dynamics of type I and II methanotrophs bacteria in rice soils. *Environ. Microbiol.* 4, 148-157.
- McCAUGHEY, W., WITTEMBERG, K. and CORRIGAN, D. 1999. Impact of pasture on methane producción by lactina beef cows. *Can J. An. Sc.*, 79(2) 221-226.

- McCAUGHEY, W., WITTEMBERG, K. and CORRIGAN D. 1997. Methane production by steers on pasture. *Can J. An. Sc.*, 76(3) 519-524.
- PRIMAVESI, O.; SHIRAIISHI, R. T., DOS SANTOS, M., APARECIDA, M., TERESINHA, T. and FRANKLIN, P. 2004. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq agrop. Bras.*, 39(3) 277-283.
- WATANABE, A.; TAKEDA, T. and KIMURA, M. 1999. Evaluation of origins of CH<sub>4</sub> carbon emitted from rice paddies. *Journal of Geophysical Research*. Vol.104. pp. 23623-23630.
- WATANABE, I.; HASHIMOTO, T. and SHIMOYAMA, A. 1997. Methane-oxidizing activities and methanotrophic population associated with wetland rice plants. *Biology and fertility of soils*. 24:261-265.



# EVALUACIÓN DE LOS PERÍODOS SECOS OCURRIDOS ENTRE 1960 Y 2008 EN ARGENTINA

*Evaluation of dry periods occurred between  
1960 and 2008 in Argentina*

Juan Antonio Rivera<sup>1,2</sup> y Olga Clorinda Penalba<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria, Pabellón II, 2° piso, (1428), Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Buenos Aires, Argentina.  
jrivera@at.fcen.uba.ar

## RESUMEN

Debido a la creciente demanda en los recursos hídricos superficiales, es necesaria una evaluación de las condiciones deficitarias en las precipitaciones sobre Argentina, dado que sus impactos en el abastecimiento de agua y la agricultura son inmediatos. Por lo tanto, se presenta un análisis de la variabilidad temporal de los períodos secos ocurridos durante los últimos 49 años. Los mismos fueron identificados mediante un índice que considera las anomalías mensuales de la cantidad de días secos filtrados mediante un promedio móvil con ventana de 12 meses. Este índice fue aplicado a cada una de las 51 estaciones pluviométricas utilizadas, cuyos datos de precipitación diaria fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional.

Las tendencias durante el período 1960-2008 reflejan una disminución generalizada en la cantidad de días secos, lo cual se vio plasmado en incrementos en las precipitaciones en distintas escalas. Para obtener un enfoque más detallado, el comportamiento de estos episodios secos fue analizado durante los sub-períodos 1960-1974, 1975-1990 y 1991-2008, mediante curvas de severidad-duración, donde se verificó que la variabilidad decadal juega un rol importante en la modulación de los períodos secos. En los últimos años de estudio se evidenció una tendencia hacia condiciones más secas, lo cual fue verificado mediante la acumulación del índice en períodos de 1, 2 y 5 años. La sequía de 2008-09 se presentó como la más extrema en varias estaciones del país.

**Palabras clave:** monitoreo de sequías, días secos, tendencias, curvas de severidad-duración, Argentina.

## SUMMARY

Due to the increasing demand on surface water resources, is necessary an assessment of the rainfall deficit conditions over Argentina, as their impacts on water and agriculture are immediate. Therefore, we present an analysis of the temporal variability of dry periods occurred during the last 49 years. These dry periods were identified by an index that considers the monthly anomalies in the number of dry days filtered using a moving average with a 12-month window. This index was applied to each of the 51 rainfall stations used, whose daily rainfall data were provided by the National Weather Service. The trends over the period 1960-2008 show a general decrease in the number of dry days, which was reflected in increases in precipitation in different scales. For a more detailed approach, the behaviour of these dry episodes was analyzed during the sub-

period 1960-1974, 1975-1990 and 1991-2008 by severity-duration curves. It was verified that the decadal variability plays an important role in modulating the dry periods. The last years of study showed a trend towards drier conditions, which was verified by the accumulation of the index in periods of 1, 2 and 5 years. The drought of 2008-09 was the most extreme in several stations of the country.

**Key words:** drought monitoring, dry days, trends, severity-duration curves, Argentina.

## INTRODUCCIÓN

Los cambios climáticos globales han recibido suma atención, sobre todo los cambios registrados en las temperaturas medias durante el último siglo. Sin embargo, no solo la modificación en el valor medio de ciertas variables meteorológicas trae consecuencias negativas en la sociedad, sino también los cambios en su variabilidad, tanto a nivel global como a nivel regional. La precipitación varía significativamente en escalas regionales y los cambios en sus patrones espaciales y temporales pueden ser particularmente destructivos (IPCC, 2007). Estos cambios suelen darse en escalas espaciales que no son detectadas por la mayoría de los modelos climáticos globales y requieren un análisis regional apropiado (Logan *et al.*, 2009). La sequía es un fenómeno extremo caracterizado por condiciones deficitarias en la precipitación, cuyos impactos se evidencian a nivel ambiental, a través de la aceleración de los procesos de desertificación, generando incrementos en el riesgo de incendios y limitando la disponibilidad de recursos hídricos para uso doméstico e industrial. También es posible evidenciar sus impactos a nivel socio-económico, a través de la generación de mermas en los rendimientos del sector agrícola-ganadero, afectando la producción de energía hidroeléctrica y ocasionando incluso pérdidas humanas.

Este trabajo propone realizar una evaluación de los períodos secos ocurridos a lo largo de la República Argentina, mediante el uso de un índice que considera las cantidades mensuales de días sin precipitación durante el período 1960-2008. El modo en el cual es utilizado el recurso agua determina tanto el tipo de sequía como su impacto, y explica por qué no existe una definición universalmente aceptada sobre qué constituye una sequía (White y Walcott, 2009). Por lo tanto, el análisis se realiza utilizando una ventana temporal de 12 meses, que caracteriza el lapso de tiempo en el cual tiene ocurrencia una sequía hidrológica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se utilizaron datos diarios de precipitación provenientes de 51 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional, para el período comprendido entre 1960 y 2008. Estas estaciones fueron elegidas tanto por la longitud de sus registros como por la completitud de los mismos, las cuales poseen menos del 10% de datos faltantes. El detalle de las estaciones utilizadas puede encontrarse en la Tabla 1.



Tabla 1. Estaciones pluviométricas utilizadas en el estudio. Las estaciones elegidas como representativas para la construcción de las curvas de severidad-duración aparecen sombreadas.

<b>Estación</b>	<b>Provincia</b>	<b>Latitud (°S)</b>	<b>Longitud (°O)</b>
La Quiaca Observatorio	Jujuy	22,06	65,36
Orán Aero	Salta	23,09	64,19
Salta Aero	Salta	24,51	65,29
Las Lomitas	Formosa	24,42	60,35
Santiago Del Estero Aero	Santiago Del Estero	27,46	64,18
Presidencia Roque Sáenz Peña	Chaco	26,52	60,27
Posadas Aero	Misiones	27,22	55,58
La Rioja Aero	La Rioja	29,23	66,49
Villa María Del Río Seco	Córdoba	29,54	63,41
Ceres Aero	Santa Fe	29,53	61,57
Reconquista Aero	Santa Fe	29,11	59,42
Bella Vista Inta	Corrientes	28,26	58,55
Paso De Los Libres Aero	Corrientes	29,41	57,09
Villa Dolores Aero	Córdoba	31,57	65,08
Córdoba Aero	Córdoba	31,19	64,13
Pilar Observatorio	Córdoba	31,4	63,53
Sauce Viejo Aero	Santa Fe	31,42	60,49
Paraná Aero	Entre Ríos	31,47	60,29
Monte Caseros Aero	Corrientes	30,16	57,39
San Martín	Mendoza	33,05	68,25
Mendoza Aero	Mendoza	32,5	68,47
Mendoza Observatorio	Mendoza	32,53	68,51
San Luis Aero	San Luis	33,16	66,21
Villa Reynolds Aero	San Luis	33,44	65,23
Río Cuarto Aero	Córdoba	33,07	64,14
Marcos Juárez Aero	Córdoba	32,42	62,09
Rosario Aero	Santa Fe	32,55	60,47
Gualeguaychú Aero	Entre Ríos	33,00	58,37
Malargüe Aero	Mendoza	35,3	69,35
San Rafael Aero	Mendoza	34,35	68,24
General Pico Aero	La Pampa	35,42	63,45
Laboulaye Aero	Córdoba	34,08	63,22
Pehuajó Aero	Buenos Aires	35,52	61,54
Junín Aero	Buenos Aires	34,33	60,55
Nueve De Julio	Buenos Aires	35,27	60,53
OCBA	Capital Federal	34,35	58,29
La Plata Aero	Buenos Aires	34,58	57,54
Punta Indio	Buenos Aires	35,22	57,17
Santa Rosa Aero	La Pampa	36,34	64,16
Coronel Suarez Aero	Buenos Aires	37,26	61,53
Tandil Aero	Buenos Aires	37,14	59,15
Mar Del Plata Aero	Buenos Aires	37,56	57,35

Neuquén Aero	Neuquén	38,57	68,08
Bahía Blanca Aero	Buenos Aires	38,44	62,10
Bariloche Aero	Río Negro	41,09	71,10
Esquel Aero	Chubut	42,56	71,09
Trelew Aero	Chubut	43,12	65,16
Comodoro Rivadavia Aero	Chubut	45,47	67,30
Puerto Deseado Aero	Santa Cruz	47,44	65,55
San Julián Aero	Santa Cruz	49,19	67,47
Río Gallegos Aero	Santa Cruz	51,37	69,17

Los períodos secos y húmedos son caracterizados mediante un índice que depende únicamente de la cantidad mensual de días secos en cada estación pluviométrica. Este índice, denominado Índice de Falta de Precipitación (IFP) fue construido de la siguiente forma:

- i) La cantidad de días secos fue calculada a nivel mensual, considerando como día seco aquel donde el acumulado de precipitación fuera nulo.
- ii) Se calcularon las anomalías de la cantidad de días secos para cada mes respecto a los valores medios del período 1960-2005. A esta serie temporal se la multiplicó por -1 a fin de asignar valores negativos a períodos secos.
- iii) Un promedio móvil con ventana de 12 meses fue aplicado a la serie de anomalías, utilizando una ventana no centrada con un esquema de pesos decrecientes a fin de otorgarle mayor peso al valor del mes en cuestión. De esta forma, el valor de IFP depende del valor presente y de los valores pasados de la serie. Por ejemplo, el valor para el mes de diciembre corresponde al promedio del IFP de diciembre y de los 11 meses previos.

La ventana de tiempo utilizada es fundamental dado que diversas características de las sequías como son el inicio, intensidad, duración, magnitud y finalización son dependientes de la escala temporal (McKee *et al.*, 1993). Un déficit en la precipitación puede pasar a condiciones normales rápidamente o mantenerse durante varios meses, afectando los caudales y reservorios de agua (sequía hidrológica). Por lo tanto, a medida que la ventana de tiempo se incrementa, este índice responde más lentamente, lo que deriva en la identificación de menos cantidad de sequías las cuales poseen mayor duración. La escala temporal de 12 meses es la más adecuada para el seguimiento de los recursos hídricos (Cuadrat Prats y Vicente-Serrano, 2004). Además, este intervalo de tiempo cubre el ciclo anual natural del clima y la vegetación.

Los períodos de tiempo en los cuales la serie del IFP posee valores inferiores (superiores) a cero corresponden a situaciones de períodos secos (húmedos). El índice es adimensional y su magnitud será proporcional a condiciones de días secos por encima o por debajo de la media climatológica para la estación analizada.

Una de las principales virtudes de este índice radica en la simplicidad de su obtención, lo cual lo hace apropiado para la región de estudio. Tal como el Índice de Precipitación Estandarizado -IPE- (McKee *et al.*, 1993), el IFP puede ser calculado para distintas escalas temporales. Sin embargo, el IPE requiere numerosas transformaciones previas a su obtención.

A fin de calcular las tendencias lineales para cada estación de la base de datos, se ajustó una recta utilizando el método de mínimos cuadrados a los valores de los vectores definidos por los años de datos y las cantidades de días secos para cada punto del espacio. La evaluación del ajuste se determinó mediante el coeficiente de correlación de

Pearson,  $r$ , el cual refleja el grado de dependencia lineal entre dos conjuntos de datos. La significancia de los coeficientes se evaluó a los niveles de 95 y 99% de probabilidad. Las curvas de severidad-duración fueron construidas considerando los sub-períodos 1960-1974, 1975-1990 y 1991-2008, a fin de determinar variaciones decadales en el índice. Para cada sub-período se identificó cada una de las rachas de meses con valores negativos del IFP con su respectiva intensidad máxima. Luego se realizó un ajuste logarítmico a las distribuciones de puntos obtenidas, a fin de caracterizar el comportamiento promedio de cada sub-período.

## RESULTADOS

### a) Tendencias en el período 1960-2008

Las tendencias en el IFP durante el período 1960-2008 presentan valores positivos y significativos sobre un amplio sector de la franja central del país (Figura 1).

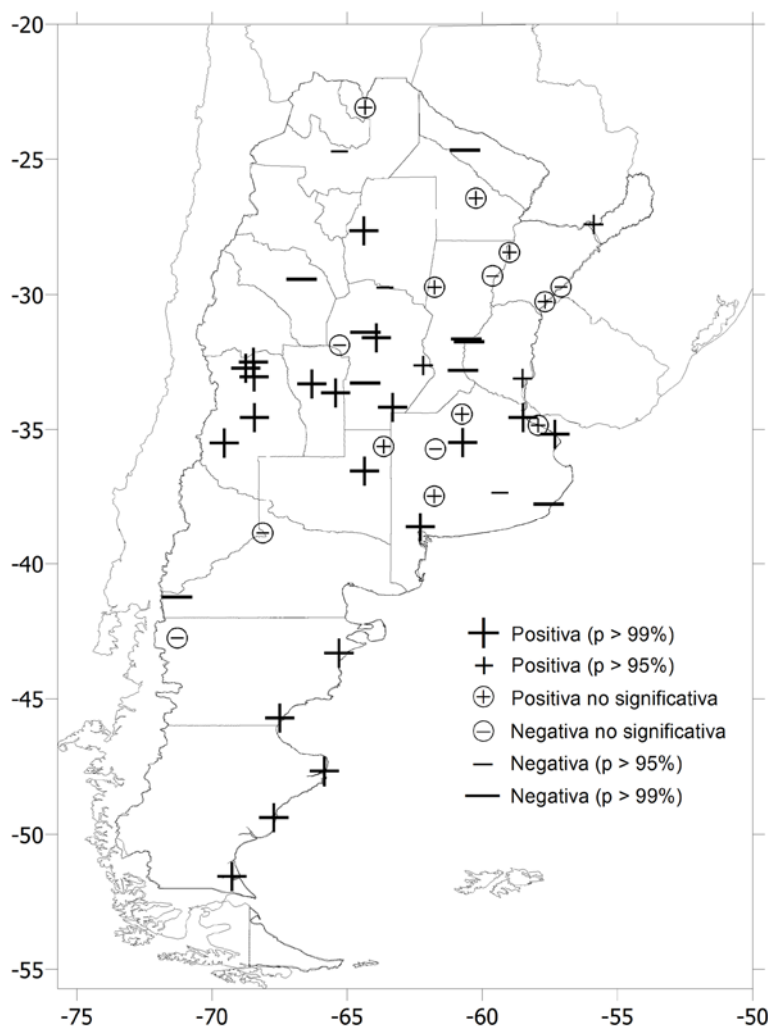


Figura 1. Distribución espacial de las tendencias en el IFP durante el período 1960-2008.

Esto refleja una disminución generalizada en la cantidad de días secos, lo cual se vio plasmado en incrementos en las precipitaciones en distintas escalas, tal como se documenta en los trabajos de Penalba y Vargas (2004); Pasquini *et al.* (2006) y Barros *et al.* (2008), entre otros. La región de Cuyo presenta valores positivos significativos al 99%. Sobre las provincias de Buenos Aires y La Pampa también se verifica una predominancia de tendencias positivas en el índice. La región

cordillerana de la Patagonia presenta tendencias negativas en las estaciones de Esquel y Bariloche, esta última significativa al 99%, mientras que las tendencias sobre la región costera presentan valores positivos significativos al 99% en todas las estaciones. En las regiones del norte del país no se observa un patrón de signos dominante. Sobre la región noreste la mayoría de las estaciones presentan valores de tendencias no significativas, observándose una tendencia negativa significativa al 99% en Las Lomitas y positiva significativa al 95% en Posadas. En la región noroeste la pobre distribución espacial de

estaciones no permite arribar a resultados importantes. Al momento de evaluar los signos de las tendencias en esta región deben tenerse en cuenta los factores orográficos que actúan sobre cada estación, lo cual puede dar patrones de signos inversos en estaciones muy cercanas, tal como se discute en Rivera (2009).

#### **b) Capacidad de monitoreo del IFP**

Este índice fue capaz de identificar ciertas características de importancia para el análisis de condiciones secas, como son el inicio, desarrollo y finalización de los períodos secos y húmedos más importantes ocurridos a lo largo del territorio nacional. A modo de ejemplo se presenta la evolución del IFP en la estación Santa Rosa (Figura 2), ubicada en el Centro-Este de la provincia de La Pampa. Series temporales similares han sido derivadas para el resto de las estaciones utilizadas.

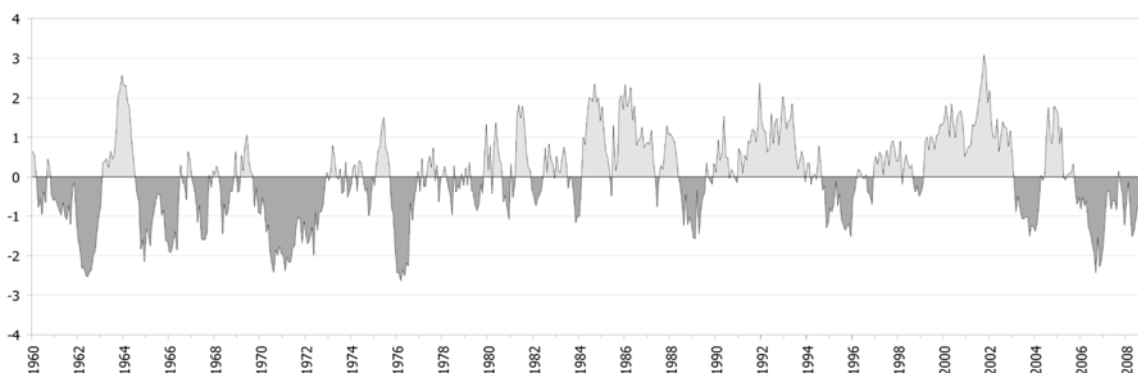


Figura 2. Evolución del IFP en la estación Santa Rosa.

Esta serie permite observar que durante la década de 1960 y la mayor parte de la década de 1970 dominaron condiciones con mayores cantidades de días secos. Hacia fines de la década de 1970 se observó un cambio de fase en el índice, predominando los períodos húmedos en las décadas de 1980, 1990 y durante la primera mitad de la década de 2000. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Vergara *et al.* (2008), quienes documentaron una mayor frecuencia de episodios húmedos durante el período 1970-2005. El período entre 1977 y 1984 se caracterizó por una mayor estabilidad climática, con períodos húmedos y secos más cortos y de menor intensidad. Hacia mediados de la década de 2000 se observó un incremento en la cantidad de días secos en esta región y en otras regiones del país. Esto se verificó mediante la acumulación del índice durante los períodos 2008, 2007-2008 y 2004-2008 (Figura 3).

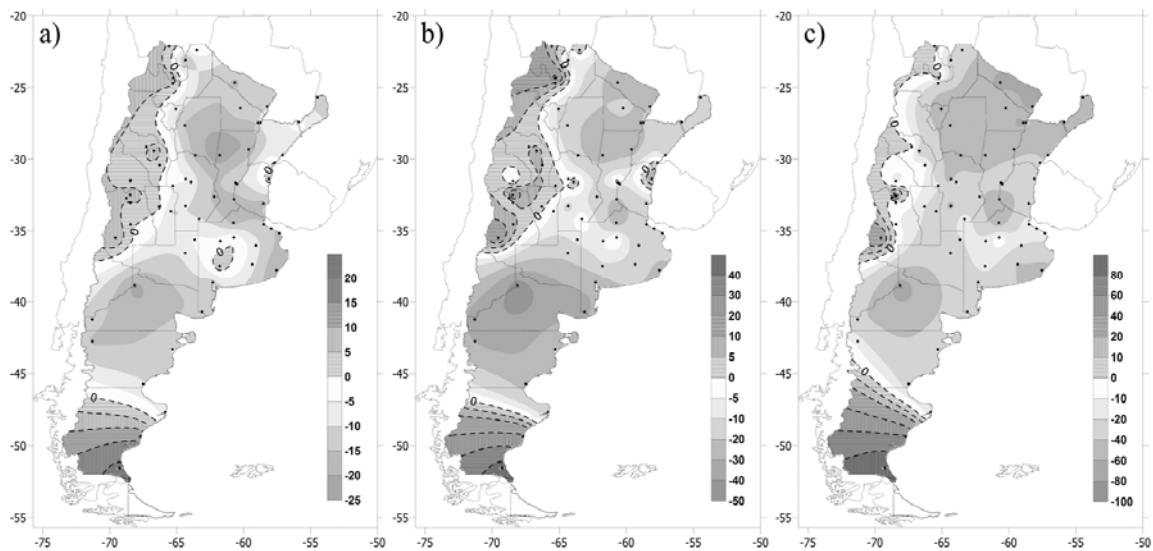


Figura 3. Acumulación del IFP durante los períodos: (a) 2008, (b) 2007-2008 y (c) 2004-2008. Los valores positivos se muestran en contornos de líneas de trazos y con sombreado a rayas.

La acumulación del IFP brinda información respecto a las cantidades de días secos en un determinado período de tiempo. El hecho de obtener acumulados negativos (positivos) indica la ocurrencia de cantidades superiores (inferiores) de días secos respecto de los días con precipitación durante el intervalo de tiempo considerado. Sin embargo, estos valores deben ser considerados siempre contemplando además las series temporales del IFP a fin de obtener mejores conclusiones respecto a las condiciones prevalecientes. En la Figura 3a se observa que la distribución espacial de los valores acumulados del IFP durante 2008 presenta dos máximos negativos en las regiones del norte de la Patagonia y la región del Chaco. Esta última región fue una de las más afectadas durante la sequía de 2008-09. El sector oeste del país presentó condiciones de menor cantidad de días secos durante 2008, al igual que el centro de la provincia de Buenos Aires y el extremo sur de la Patagonia. Un patrón espacial similar se obtiene a partir de los valores de acumulación durante los años 2007-08 (Figura 3b), mientras que la acumulación durante el período 2004-08 (Figura 3c) presenta un incremento en el área de valores negativos, indicando que durante los últimos 5 años se observaron condiciones con mayores cantidades de días secos en una amplia porción del país.

### c) Curvas de severidad-duración

Para este análisis se seleccionaron estaciones al norte de 40°S, tanto por su calidad de información como por su representatividad geográfica. Las mismas aparecen sombreadas en la Tabla 1 y su distribución espacial se muestra en la Figura 4. Mediante el ajuste logarítmico realizado a las distribuciones de puntos correspondientes a cada sub-período se puede visualizar de mejor forma el comportamiento promedio de los mismos, donde se identificó que la variabilidad interdecadal juega un rol importante en la regulación de los períodos secos en gran parte del territorio nacional. Se evidencia un efecto claro de la modulación decadal en las curvas correspondientes a la estación Salta, mientras que para la estación Neuquén no se evidencian diferencias mayores entre sub-períodos (Figura 4).

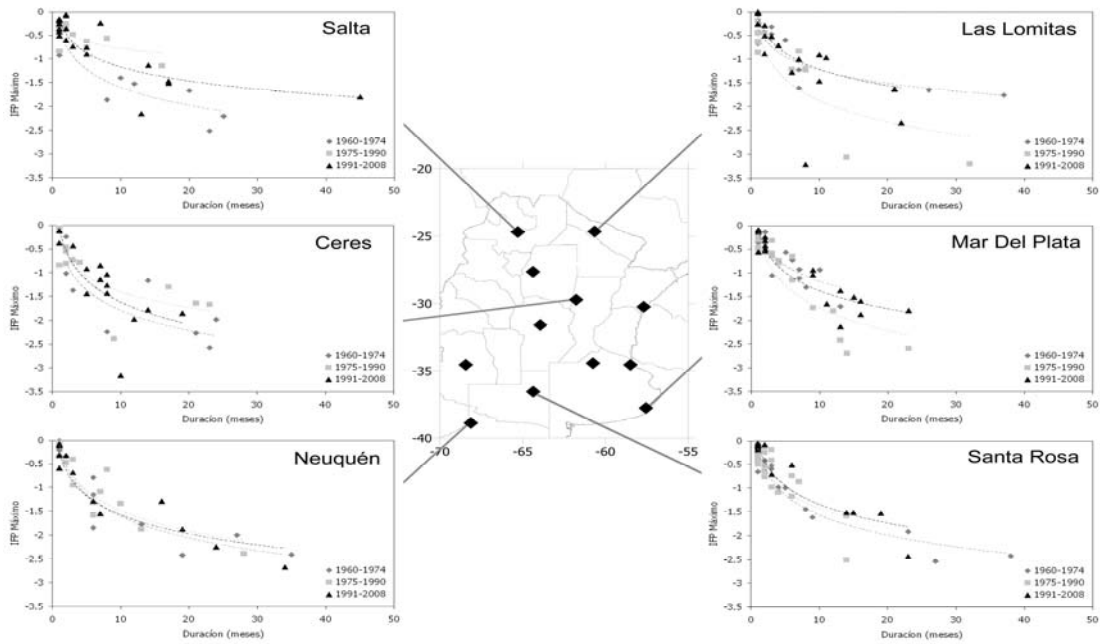


Figura 4. Curvas de severidad-duración para los sub-períodos 1960-1974, 1975-1990 y 1991-2008. En el mapa se muestran las estaciones seleccionadas para el análisis. El análisis de las curvas de severidad-duración para estas estaciones permite identificar patrones espaciales respecto de la máxima intensidad o duración de cada sub-período considerado, lo cual se muestra en la Figura 5.

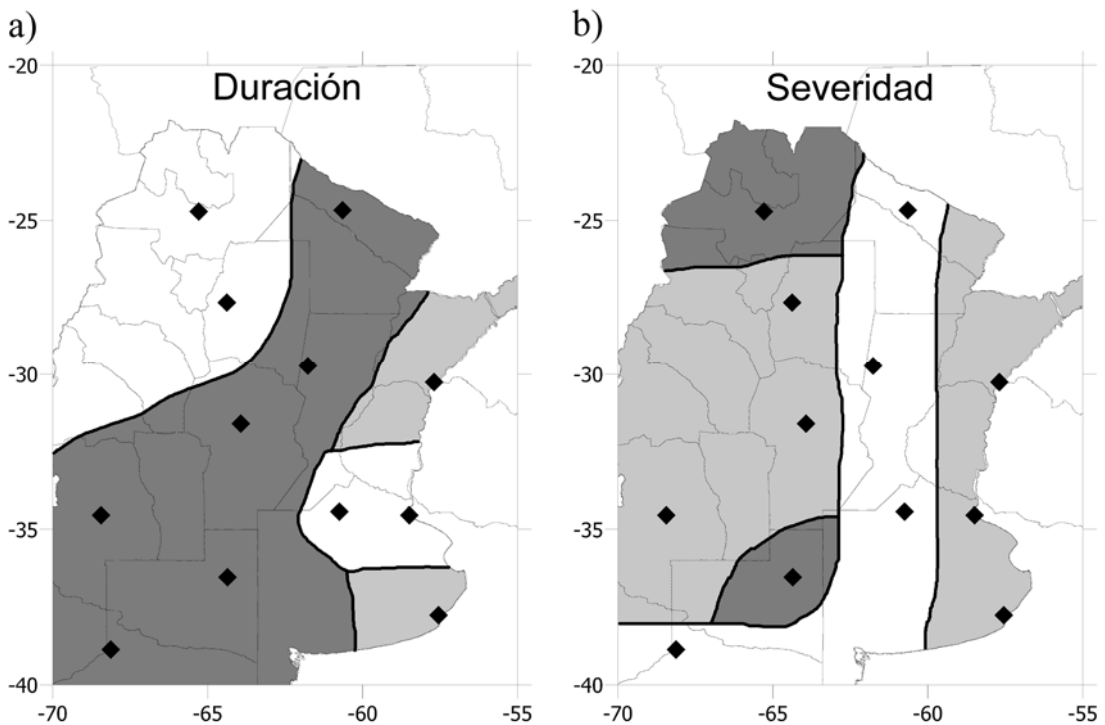


Figura 5. Distribución espacial de la ocurrencia de valores máximos de duración (a) y severidad (b) durante los sub-períodos 1960-1974 (gris oscuro), 1975-1990 (gris claro) y 1991-2008 (blanco).

Durante el período 1960-1974 dominaron sobre la franja Centro-Oeste del país los períodos secos más largos, mientras que los períodos secos de mayor magnitud se observaron en las estaciones Salta y Santa Rosa. En el período 1975-1990 se registraron los períodos secos más importantes en gran parte de las estaciones analizadas, registrándose en las estaciones de Monte Caseros y Mar del Plata las mayores duraciones. En tanto que el período 1991-2008 presentó valores de IFP máximos para las estaciones de Las Lomitas, Ceres, Junín y Neuquén. Para el caso de las tres primeras estaciones, este valor máximo correspondió a la sequía de 2008-09. Las duraciones máximas en este último período se dieron en las estaciones del noroeste y sobre el norte de la provincia de Buenos Aires.

## **CONCLUSIONES**

En vista de la complejidad que presenta el cálculo de la mayoría de los indicadores de sequías, resulta útil considerar el Índice de Falta de Precipitación dada la simplicidad de su obtención. Si bien las tendencias en el índice reflejan los incrementos ocurridos en los acumulados de precipitación a lo largo del período de estudio, debe tenerse en cuenta que durante los últimos años se dieron condiciones secas de gran magnitud espacial y temporal. Estos episodios secos se identificaron tanto en las series temporales del IFP, como a través de la acumulación de este índice en distintos períodos de tiempo. Mediante las curvas de severidad-duración pudo verificarse que la variabilidad decadal se manifiesta en los eventos secos alternando períodos con eventos moderados y períodos con eventos más severos, al mismo tiempo que modula la duración de los mismos. La sequía de 2008-2009 se presentó como la más extrema de los últimos 49 años en varias estaciones del país, como fue el caso de Las Lomitas, Ceres y Junín. Los cambios en el índice pueden ser tenidos en cuenta al momento de ajustar las estrategias del manejo de los recursos hídricos, a fin de minimizar la posibilidad de conflictos sociales y económicos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Servicio Meteorológico Nacional por la provisión de los datos para la realización de este trabajo. A los proyectos de la Universidad de Buenos Aires UBACYT X170, de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (BID 1728-AR-PICT 38273) y de la Comunidad Europea CLARIS LPB.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BARROS, V.R.; DOYLE, M.E. y CAMILLONI, I.A. 2008. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theor. Appl. Climatol.*, 93 (1-2): 19-33.
- CUADRAT PRATS, J.M. y VICENTE-SERRANO, S.M. 2004. Comportamiento de las sequías en la península Ibérica: Análisis mediante el Standardized Precipitation Index. Pp 245-254 en: García Codron *et al.* (Eds.). El Clima entre el Mar y la Montaña. Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A, nº 4, Santander.
- IPCC, 2007. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller, (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/New York, NY, USA.

- LOGAN, K.E.; BRUNSELL, N.A.; JONES, A.R. y FEDDEMA, J.J. 2009. Assessing spatiotemporal variability of drought in the U.S. central plains. *Journal of Arid Environments* (in press). doi:10.1016/j.jaridenv.2009.08.008.
- MCKEE, T.B.N.; DOESKEN, J. y KLEIST, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: Eight Conference On Applied Climatology. Anaheim, CA, USA, 17-22 January 1993. Pp: 179–184. American Meteorological Society.
- PASQUINI, A.I.; LECOMTE, K.L.; PIOVANO, E.L. y DEPETRIS, P.J. 2006. Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. *Quaternary International*, 158: 127-139.
- PENALBA, O.C. y VARGAS, W.M. 2004. Interdecadal and Interannual variations of annual and extreme precipitation over central-northeastern Argentina. *International Journal of Climatology*, 24 (12): 1565–1580.
- RIVERA, J.A. 2009. Variabilidad espacio-temporal de los días secos en Argentina. Tesis de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- VERGARA, G.T.; CASAGRANDE, G.A. y ARNAIZ, J.P. 2008. Caracterización agroclimática de las sequías (1970/2005) en tres localidades de la provincia de La Pampa, Argentina. *Agronomía Trop.*, 58 (1): 77-80.
- WHITE, D.H. y WALCOTT, J.J. 2009. The role of seasonal indices in monitoring and assessing agricultural and other droughts: a review. *Crop & Pasture Science*, 60: 599-616.



# UTILIZACIÓN DE LAS MICROALGAS COMO BIOINDICADORES DEL DETERIORO DE AMBIENTES ACUÁTICOS

*Microalgae as bioindicators of aquatic bodies alterations*

**Visitación Conforti**

Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires y CONICET. Ciudad Universitaria, Pab. II, 1428, Buenos Aires, Argentina.  
conforti@bg.fcen.uba.ar

## RESUMEN

Los ambientes acuáticos presentan una gran biodiversidad y tienen mucha importancia para el desarrollo social y económico de un país. Sin embargo, su deterioro hace peligrar su sustentabilidad. A pesar de ello, la información necesaria para definir estrategias y tomar decisiones a nivel gubernamental, es escasa, dispersa y fragmentada. Su saneamiento exige disponer de una correcta evaluación del efecto de los contaminantes sobre el cuerpo receptor, así como la implementación de programas de monitoreo y control. Usualmente, se realizan análisis físico - químicos para medir la toxicidad de los efluentes, los que normalmente son costosos, laboriosos, no siempre lo suficientemente sensibles y reflejan la situación puntual del momento en que son hechos. En tanto que la utilización de elementos de la comunidad fitoplanctónica como bioindicadores, permite una evaluación rápida de la calidad del agua, mostrando de un modo más prolongado el impacto de los contaminantes. En este trabajo, se desea analizar la utilidad de las microalgas como bioindicadores de la calidad del agua. Estos organismos al estar en la base de la cadena trófica son los primeros en sufrir los efectos de las alteraciones ambientales y responden velozmente a los cambios del medio, por lo que dentro de ciertos límites, la presencia, ausencia o abundancia relativa de las especies puede ser utilizada como indicador de calidad ambiental. Un correcto programa de monitoreo biológico, deberá incluir estudios toxicológicos y fisiológicos de las especies analizadas, los cuales facilitarán la interpretación y aplicación de los datos de campo. En los últimos años, mucha bibliografía sobre la utilidad de distintos organismos como indicadores de las condiciones ambientales fue publicada. Entre estos, las microalgas demostraron tener mucha utilidad y brindar resultados muy satisfactorios.

**Palabras clave:** microalgas, bioindicadores, contaminación acuática.

## SUMMARY

Aquatic environments enclose great biodiversity and have great social and economical importance to any country. Their degradation endanger and their sustentability, but the necessary information to define strategies and government policies is scare, disperse, and fragmented. Their remediation demands a correct evaluation of the effect of contaminants and the implementation of monitoring and control programs. Usually, physicochemical analyses that are performed to measure the toxicity of the effluents are labour intensive, costly, not sensible enough, and reflect the situation in the specific moment in which they are executed. In contrast, phytoplankton community elements as

biological indicators allow a quick evaluation of water quality, showing the impact of contaminants in a much prolonged way. In this work, the utility of microalgae as biological indicators for water quality is analyzed. Since these organisms are basal on the trophic chain, they are the first to suffer the effects of environmental changes and respond fast to medium alterations. Thus, with limitations, presence, absence, and relative abundance of species may be used as environmental indicators. A correct biological monitoring program must be complemented with toxicological and physiological studies of the analyzed species, which facilitates the interpretation of the results of field studies. Recently, numerous studies have been published in this subject and have shown that microalgae are of great utility for monitoring water quality.

**Key words:** microalgae, biological indicators, aquatic contamination.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas el impacto de la actividad humana en el ambiente ha ido en marcado aumento. El uso desmesurado de recursos y la producción de desechos, en su mayoría no biodegradables, han provocado graves alteraciones a los sistemas naturales.

En nuestro planeta el ecosistema acuático es uno de los más importantes por su extensión. En él se pueden distinguir pantanos, lagunas, esteros, humedales, lagos, arroyos, ríos, mares y océanos. Estos últimos ocupan las dos terceras partes de la superficie de la Tierra, mientras que sólo el 2.6 % del volumen total corresponde al agua dulce, de los cuales sólo el 0.3 % está disponible, mientras que el resto no lo es, por estar formando parte de los cascos polares (76.4 %) o por ser parte de acuíferos (22.8%) (Kalff, 2002). Estos valores nos dan una idea clara de que el recurso agua no es tan enorme como normalmente se cree y de la importancia que tiene su preservación.

La creencia de que un flujo constante de agua podrá depurar paulatinamente un vertido contaminante o que en un volumen grande de agua inevitablemente lo va a diluir, llevaron a utilizar estos cuerpos como reservorios tradicionales para la disposición de diversos efluentes. El panorama actual manifestado por las grandes cuencas hídricas es una clara demostración de que estas premisas no son ciertas y que en la mayoría de las veces su capacidad de autodepuración se ve superada.

Las alteraciones de origen antropogénico, producen cambios en las características físico-químicas del agua y en la composición de su biota, proceso también conocido como contaminación acuática (Leynaud, 1979). Este fenómeno puede ser causado por compuestos minerales, orgánicos, aportes con microorganismos o efluentes con elevada temperatura, los que provocarán una menor solubilidad del oxígeno en el agua.

El vertido de fertilizantes, crea un desequilibrio en los procesos naturales, dando lugar a una gran alteración entre la síntesis biológica y la degradación de la materia orgánica, llevando por lo común a una acumulación de ésta última y generando el proceso de eutrofización del cuerpo de agua (Hunstsman y Sunda, 1980; OCDE, 1982).

La degradación de la calidad del medio acuático determina que aparezcan alteraciones tanto en sus propiedades físico-químicas como en la biota que lo habita, por lo que los contaminantes pueden ser detectados de dos maneras; con análisis físico-químicos y/o por el estudio de los efectos que ellos generan sobre las comunidades del sistema acuático.. Las técnicas físico-químicas de detección tienen la ventaja de poder aplicarse a los efluentes directamente. Ellas se usan para cuantificar compuestos químicos como metales, sales, gases disueltos, y distintos compuestos orgánicos. Otros parámetros que son determinados fácilmente (temperatura, pH, turbidez, alcalinidad, etc). Estos parámetros si bien son muy importantes, tienen la limitación de brindar una información relativa únicamente al momento de la toma de las muestras, sin brindarnos indicación

alguna sobre el estado previo de las aguas ni de su capacidad de autodepuración (Martínez de Bascaran, 1979). Por otro lado, conocer la naturaleza del contaminante es sólo el primer paso. La mayoría de los vertidos varían su volumen y calidad con el tiempo, en consecuencia, el aporte que recibe el agua también cambia. A lo cual, se le suman las variaciones estacionales propias del cuerpo receptor, no será igual el impacto a producir por idéntica cantidad de un contaminante descargado en un río caudaloso que cuando éste se vuelque en uno con escaso nivel de agua. En general, salvo catástrofes ecológicas como derrames de petróleo, efluentes de la actividad minera o nuclear, etc., el impacto de los contaminantes va a ser mayor en masas de agua poco profundas y en ríos con corriente débil o nula. Es de notar que muchas descargas no son continuas, dando lugar a picos de concentración de los contaminantes aguas abajo del lugar de su ingreso. El efluente es arrastrado por la corriente y va diluyéndose, por lo cual la sensibilidad de los análisis químicos debe aumentar a medida que nos alejamos de su punto de ingreso. Si esto no se considera, aquellas sustancias cuya concentración están por debajo de un cierto nivel de detección del método, pueden no ser cuantificadas.

Una alternativa a estos análisis, son los indicadores biológicos, que si bien exigen un mayor esfuerzo, tienen suficientes ventajas como para justificar su empleo.

Los impactos en los ecosistemas acuáticos inducen a cambios en la estructura de las comunidades y de los organismos, afectando su ciclo de vida, crecimiento y condición reproductiva. Por tal motivo, estas alteraciones en algunas especies pueden proporcionar de forma más o menos directa, información sobre cambios físico-químicos en el agua. (Vázquez *et al.*, 2006). Dado que los organismos necesitan tiempo para desarrollarse, los índices biológicos informan de hechos ocurridos algún tiempo atrás, mostrando factores no presentes en el momento del muestreo y además predicen la evolución de la comunidad en el tiempo y en el espacio (González del Tango, 1978).

Los cambios ambientales afectan, en mayor o menor grado, a todos los organismos que se encuentran en el lugar, pero por estar las algas en la base de la pirámide trófica, ellas junto con las bacterias son las que más rápido van a recibir el impacto de los agentes contaminantes. Por esta razón, desde hace muchos años, fue reconocido a nivel mundial el uso de las algas como indicadores ambientales (*e.g.* Butcher, 1947; Fjerdingsstad, 1950; Sládecek, 1973; Lange - Bertalot, 1979). Esta cualidad también fue tenida en cuenta por numerosas Agencias Ambientales que las eligieron para monitorear y determinar condiciones ecológicas en muchos tipos de ecosistemas acuáticos. (*e.g.* Margalef, 1955, 1969; Weber, 1973; CEMAGREF, 1982; Cairns, 1990; Dixit y Smol, 1994; Borsant y Premazzi, 1992; Bahls, 1993; Whiton *et al.*, 1991; Whiton y Rott, 1996; Kelly *et al.*, 1998; Stevenson y Bahls, 1999; Minciardi *et al.*, 2003; Perez Hechavarría *et al.*, 2003; Rivella, 2003).

### **Comunidades algales**

Las algas tienen una amplia distribución, ocupando numerosos habitats, pero por su fisiología necesitan un contenido mínimo de humedad. Estos organismos dominaron la Tierra aproximadamente  $1.5 \times 10^9$  años atrás y desde entonces han evolucionado continuamente, adaptándose a toda clase de ambientes y diferentes predadores. Como resultado, ellas muestran muchas especializaciones, adaptaciones morfológicas complejas y ciclos de vida que no tienen equiparación en las células individuales que forman a los organismos multicelulares, características que en algunos casos les permiten sobrellevar los problemas causados por los agentes contaminantes. Forman parte de varias comunidades acuáticas, pero los grupos más numerosos se encuentran en el plancton o en el bentos, pudiendo ser autótrofas, heterótrofas y mixótrofas. Conocer la composición de estas comunidades puede proveer una precisa y acabada

caracterización de la integridad biótica y de las condiciones ambientales (Stoermer y Smol, 1999).

Las algas constituyen excelentes herramientas para medir los impactos de sustancias tóxicas por ser organismos muy sensibles, tener un tiempo generacional corto y presentar una rápida respuesta fisiológica, de modo que en muy corto plazo pueden evidenciar los efectos de las alteraciones sufridas por el ambiente.

### **Cambios en las comunidades algales**

En respuesta a la contaminación del agua dentro de la cual viven, según sean sus niveles de abundancia y los patrones de distribución de las comunidades algales, pueden observarse distintos cambios:

- en la biomasa total y que la estructura de la comunidad quede igual,
- en las abundancias de las especies que forman la comunidad,
- en la estructura de la comunidad y en la biomasa total,
- en la abundancia y en la diversidad específica.

¿Cuáles variaciones van a ocurrir?, ¿Dependerá del tipo y grado de la alteración y de la sensibilidad de las especies de la comunidad a cambios específicos ambientales?. Por lo que, con un adecuado muestreo y un análisis apropiado de los datos, el monitoreo de las características biológicas de los cuerpos de agua podrá indicar la presencia de modificaciones ambientales significativas que de otra forma, no serían detectadas.

### **Influencia de las sustancias orgánicas sobre las algas**

Entre los principales responsables de contaminación por materia orgánica podemos nombrar a los herbicidas y pesticidas organoclorados, hidrocarburos y derivados aromáticos de la refinación del petróleo. Ellos ingresan al ecosistema acuático durante la manufactura, uso y eliminación de una amplia gama de productos comerciales como fungicidas, solventes, lubricantes, refrigerantes y jabones entre otros. Muchos de estos contaminantes, al no ser biodegradables, persisten largo tiempo en el ecosistema y pueden bioacumularse rápidamente a lo largo de la red trófica, a la que ingresan a través del fitoplancton. Los miembros de esta comunidad acumulan numerosos compuestos orgánicos sintéticos diferentes y los metabolizan o biotransforman. Por otro lado, el desarrollo de grandes asentamientos urbanos, aumenta la descarga de materiales orgánicos biodegradables y detergentes, que van a alterar considerablemente los niveles de nutrientes como fosfatos, nitratos y cloruros, generando cambios en la biota acuática. Las algas de los medios afectados por contaminaciones esencialmente orgánicas estarán condicionados por la concentración y naturaleza de los contaminantes; cantidad de oxígeno disponible; concentración de productos tóxicos resultantes del metabolismo bacteriano (toxinas, ácido sulfhídrico, amoníaco, metano); época del año (temperatura); naturaleza de los predadores presentes; eficacia de la autodepuración del cuerpo de agua y por la actividad y naturaleza de las bacterias.

Ciertas especies de algas, aunque provistas de pigmentos asimiladores, dependen estrechamente del contenido en el medio de compuestos orgánicos sencillos o de vitaminas, por lo que ante un enriquecimiento orgánico, éstas y sus depredadores unicelulares se verán favorecidos y experimentarán un estímulo en su desarrollo.

Como fruto de estos cambios se produce un desbalance entre los procesos biológicos de síntesis y los de degradación de la materia orgánica, afectando principalmente a la biomasa algal y bacteriana, pudiendo alterarse mucho las condiciones del ambiente acuático, inclusive cambiar su nivel trófico.

Este último se refiere a la aptitud de un cuerpo de agua para producir una biomasa vegetal o animal más o menos abundante, la cual será tanto más importante cuanto

mayor sean los nutrientes, minerales y orgánicos, disponibles para el desarrollo de los organismos. Así, según la riqueza creciente de elementos nutritivos disponibles para la biosíntesis, se distinguen cuerpos de agua oligotróficos, mesotróficos o eutróficos, Las algas se encuentran entre los seres más influenciados por el grado trófico de las aguas, por lo que los grupos presentes en los distintos niveles, han recibido desde hace mucho tiempo el interés de muchos investigadores (Slàdecek, 1973). En base a las asociaciones existentes, se puede tener una idea de la calidad del agua del ecosistema en cuestión, las comunidades resultantes van a depender de las exigencias nutritivas de las especies, de sus potencialidades de multiplicación y de la actividad depredadora del zooplancton y peces herbívoros. En general podemos decir que en estos eventos de exceso de residuos orgánicos no tóxicos, van a desaparecer las especies sensibles a los productos del metabolismo bacteriano y a la falta de oxígeno. Mientras que las restantes van a encontrar superabundancia de alimento y podrán proliferar.

### **Influencia de las sustancias inorgánicas sobre las algas**

Muchas veces la eutrofización trae aparejado un aumento significativo del aporte de fósforo y nitrógeno que fertilizan el agua, determinando un aumento desmesurado de las poblaciones algales. Los efectos de químicos inorgánicos en la célula influyen en la proporción del crecimiento, desarrollo y abundancia de las poblaciones que pueden reflejarse en cambios en la abundancia relativa de sus comunidades. En estos casos se pueden observar floraciones algales, las cuales son la respuesta a la existencia de un conjunto de condiciones biológicas, químicas, hidrográficas y meteorológicas. Estas de por sí son un problema, porque en general se desarrolla una especie en detrimento de otras, pero a su vez muchas de ellas involucran especies tóxicas, con lo cual el daño es mucho mayor. El fenómeno de las mareas rojas, donde la densidad puede alcanzar varias decenas de millones de células / litro, es un ejemplo de este proceso.

Por otro lado, algunos químicos inorgánicos tóxicos afectan a las algas a nivel de su organización biológica, bioquímica, celular, poblacional y de las comunidades. Entre estos se destaca el aporte de metales pesados a los cuerpos de agua, cuya toxicidad dependerá de las condiciones ambientales existentes, las cuales determinarán su biodisponibilidad (Rodríguez *et al.*, 2008). Las fuentes de este tipo de contaminación las podemos clasificar en naturales y las provocadas por actividades antropogénicas. Dentro de estas últimas se encuentran, aguas con mercurio de actividades industriales, de fundiciones (arsénico, cadmio), de suelos agrícolas (cobre de pesticidas), lixiviados de basurales, efluentes urbanos (plomo), efluentes de plantas de combustibles fósiles, descargas de plantas de tratamiento municipales o industriales, producción de cemento y actividades mineras, entre otras. En los últimos tiempos, se han detectado crecientes cantidades tóxicas de metales pesados, insecticidas y materiales radiactivos en ciertas especies y en las redes tróficas, como corolario del creciente deterioro de los cuerpos de agua. Ellos pueden alterar la composición y la abundancia de las comunidades, afectar diferentes estadios de los ciclos de vida, provocar inhibición tóxica, disminuir la diversidad y en algunos casos actuar como micronutrientes estimulando la tasa de crecimiento de las especies.

### **Las microalgas como indicadoras de distintos tipos de contaminación**

Un bioindicador es una especie o comunidad de organismos cuya presencia, comportamiento o estado fisiológico tiene una estrecha correlación con determinadas circunstancias del entorno. Cualquier especie elegida como un indicador debería ser claramente definida taxonómicamente, así como conocerse su ecología y ciclo biológico. Ésta debe ser fácil de reconocer y de monitorear, ser abundante, muy sensible

a las condiciones del medio, estar relacionada con los factores que se quieren investigar, predecir cambios que pueden ser evitados con un manejo adecuado, mostrar una respuesta previsible a disturbios (estrés antropogénico y cambios a lo largo del tiempo), presentando muy poca variabilidad en su respuesta.

Las especies tienen requerimientos físicos, químicos, de estructura del hábitat y de relaciones con otras especies. Para cada especie o población existen determinados límites para las condiciones ambientales en las que ellos pueden sobrevivir, crecer y reproducirse. En general, cuanto más estenoica sea una especie, es decir más estrechos sean sus límites de tolerancia, mayor será su utilidad como indicador ya que se podrá estar seguro de que no vivirán en condiciones diferentes a las que caracterizan.

Las algas para ser empleadas como indicadores del grado de contaminación pueden utilizarse de dos modos, investigando individualmente a las especies o estudiando la diversidad específica de una comunidad o asociaciones de especies particulares. La mayoría de los veces se selecciona entre aquellas especies de las de mayor frecuencia de ocurrencia en determinadas condiciones ambientales, aunque más correcto sería una elección basada sobre el conocimiento de la autoecología de un taxón en particular.

Margalef (1955) sugirió que cuando se clasifique a un ambiente acuático en base a la comunidad fitoplanctónica, se haga la identificación taxonómica de las especies, y que cuando esto no es posible, se limite la información a grandes grupos taxonómicos ya que estos suelen tener significado ecológico. Por el contrario, le resta valor a los géneros como indicadores, dado que distintas especies de un mismo género pueden tener requerimientos ecológicos totalmente diferentes. Además, se debe considerar que las especies pueden incluir deformaciones o mutantes que pueden implicar diferentes requerimientos ecológicos (Tell y Vinocur, 1991; Conforti, 1998).

En algunas ocasiones, en vez de una selección de especies, es posible utilizar como indicadores biológicos a comunidades o asociaciones enteras. Asociación es un término usado para referirse a un grupo de especies que reaccionan de igual modo ante un conjunto de condiciones ambientales. Esto tiene ventajas pero requiere descripciones muy amplias y nos enfrenta con los problemas de la definición y delimitación de los tipos de comunidades y asociaciones. El término asociación proviene de la Ecología Vegetal, y estas son más difíciles de definir en un medio fluido donde las condiciones varían más que en uno terrestre. Además, muchas especies necesitan de condiciones semejantes pero nunca han sido encontradas simultáneamente en asociación en el mismo lugar. Así *Cylindrospermopsis* y *Anabaena minutissima* muestran iguales propiedades antena y de fijación de nitrógeno, como para vivir en medios turbios y con deficiencia de este elemento, pero sin embargo nunca se encontraron juntas en asociación. A partir de estas observaciones, Reynolds *et al.* (2002) propusieron llamar “grupos funcionales” a conjuntos de especies con morfología, fisiología o aspectos ecológicos similares. Destacando que ellos no tienen una interpretación única y universal, sirviendo para reconocer dentro del fitoplancton grupos con iguales especializaciones o requerimientos (como tener gran afinidad al fósforo o al dióxido de carbono, necesitar sílice para su esqueleto, etc.).

La información biológica generada, a partir de los bioindicadores, asociaciones algales y los grupos funcionales definidos más recientemente, no reemplaza de modo alguno a los análisis fisicoquímicos, pero si conducen a un conocimiento más acabado de la situación, lo cual resulta muy importante en el monitoreo de la calidad del agua.

Por otro lado, cualquiera sean los elementos que se seleccionen para realizar un biomonitoreo, además de los estudios de campo, éste se puede completar por la toma de muestras en el ambiente de interés y analizar en el laboratorio los efectos de los contaminantes sobre organismos indicadores modelos a través de bioensayos. Todo

biomonitoreo puede ser optimizado con estudios toxicológicos y fisiológicos de las especies analizadas, los cuales, en conjunto, facilitarán la interpretación y aplicación de los resultados de campo obtenidos a partir de otras metodologías.

### **Ejemplo de utilización de microalgas en biomonitoreo**

Como ejemplo de un emprendimiento concreto para mejorar la calidad de los ambientes acuáticos utilizando microalgas, podemos referirnos a la serie de normas implementadas por La Unión Europea para que cumplan los países de la comunidad. La Directiva 2000/60/CE (Directiva Marco del Agua, DMA) establece por primera vez la necesidad de conocer el estado ecológico de las aguas continentales y obliga a cada país miembro a restablecer su calidad. En ella se fija como objetivo llegar a un buen estado ecológico antes del año 2015, a través de la realización de planes de saneamiento de todas las cuencas. Para su aplicación, entre otras cosas, se necesitó la identificación de elementos de calidad biológica, parámetros y métricas más adecuados para establecer el estado ecológico. En el caso de lagos y ríos se estableció entre otros elementos, determinar la composición, abundancia y biomasa del fitoplancton.

Una de las líneas metodológicas se basó en el estudio del fitoplancton a través de asociaciones de especies y la obtención de índices para evaluar el estado ecológico. Para esto, es necesario hacer inventarios de los cuerpos de agua, analizar los patrones de variación de la composición por técnicas estadísticas (*e.g.* análisis de componentes principales) y luego elaborar índices de comunidades para cada tipo de lago o embalse. Dado que en Europa abundan los cuerpos de agua con escaso nivel de agua, también se consideró importante el análisis del fitobentos, o sea el estudio de los organismos autótrofos que viven asociados a cualquier sustrato del fondo de los ecosistemas acuáticos, incluyendo cianobacterias, microalgas y macrófitos. Dentro de este puede haber perifiton que son las comunidades que viven sobre sustratos sumergidos de distinta naturaleza (rocas, plantas sumergidas vivas o muertas, etc.) e incluye algas, bacterias, hongos, protozoos. Dentro de las microalgas se destacan las diatomeas y clorofitas, así como también las cianobacterias.

El uso de microalgas bentónicas es muy habitual para el monitoreo en Europa, no obstante la inmensa mayoría de estudios se refieren a diatomeas (*e.g.* Descy y Coste, 1990; CEN, 2004; AENOR, 2005; Ector y Rimet, 2005; Gomà *et al.*, 2005), existiendo más trabajos en ríos que en lagos. Ellas son muy útiles para la detección y seguimiento de la eutrofización, aumentos de materia orgánica, salinidad y acidificación.

Los factores más relevantes que afectan la composición y abundancia de las diatomeas son los nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno) y la salinidad. Otros factores como la luz, la temperatura, el pH, la velocidad de la corriente y la naturaleza del sustrato pueden también causar variaciones en las comunidades de diatomeas. Esto disminuye la diversidad y aumenta el número de individuos por especie.

Existe una gran variedad de índices de diatomeas diseñados por diferentes autores. Entre ellos podemos nombrar: CEE (Lange-Bertalot, 1979); IPS (CEMAGREF, 1982); IBD (Prygiel y Coste, 1998); ROTT (Rott *et al.*, 2003) y EPI-D (Dell'Uomo, 2004). Ellos en general se basan en combinaciones entre el grado de sensibilidad (tolerancia) y la abundancia relativa, que tienen un grupo de taxones seleccionados (en general especies) a determinados factores. Si bien estos índices resultan muy apropiados para la implementación de la DMA, la mayoría de ellos fueron hechos sobre la base de las características ecológicas de los ambientes europeos y usando especies que aparecen en ellos, por lo cual si se los utiliza en otras regiones no tienen porque funcionar.

En un trabajo (Gómez, 1999) realizado en la cuenca Matanza Riachuelo, Buenos Aires, Argentina, se pudo advertir al emplear varios índices de polución y eutrofización

existentes en la literatura, que la tolerancia de ciertas especies de diatomeas difería de las propuestas en los listados para calcular los índices europeos, por lo que fue necesario estudiar las exigencias de las halladas en los ecosistemas pampeanos. Para esto se seleccionaron distintos ambientes lóticos con diferentes problemáticas ambientales, desde actividad agrícola a industrial, a lo largo de dos años, y los datos obtenidos permitieron elaborar el IDP o Índice de Diatomeas Pampeano (Gómez y Licursi, 2001). Además pudieron comprobar que la comunidad de diatomeas también servía para monitorear cuerpos de agua con fondos blandos y no rocosos como los europeos. Sin duda, queda claro que el esfuerzo europeo por recuperar las buenas condiciones de sus cuerpos de agua es un ejemplo a seguir y que las algas son una herramienta muy útil, pero en cada caso se deberán seleccionar los organismos y la metodología adecuada para cada lugar de estudio.

### **Consideraciones finales**

Últimamente, los recursos acuáticos se han tornado de valor estratégico para los países. La constatación del alto grado de deterioro, o algún tipo de contaminación en la mayoría de los ambientes acuáticos del mundo, constituye un serio problema, con consecuencias para su calidad y sustentabilidad. Esta situación implica grandes perjuicios en los sectores sociales directamente involucrados, así como también preocupación en distintos integrantes de la comunidad científica y en los gestores ambientales. En Argentina, la mayoría de las cuencas hídricas cercanas a los grandes centros urbanos están muy deterioradas. Entre éstas, las que se encuentran en la provincia de Buenos Aires, en particular en su conurbano, como las del Matanza - Riachuelo, Reconquista y Luján, son de las más afectadas. Ellas provocan situaciones urbano-ambientales donde un alto porcentaje de los habitantes de la cuenca padecen estándares de calidad de vida inadecuados y constituyen un grave e importante impacto social y económico. Por esto existe un creciente interés por conocer y proteger a estos ecosistemas y evaluar sus cambios, desarrollando diferentes técnicas y criterios que permitan estimar el efecto y la magnitud de las intervenciones humanas. Ninguno es suficiente por sí sólo, sino que todos en su conjunto ayudarán a tratar esta problemática mundial. El lograr un tipo de monitoreo más eficiente, con bioindicadores representativos de condiciones locales también implica un seguimiento en el tiempo de los indicadores elegidos *in situ*, de modo de ser capaces de reconocer rápidamente etapas incipientes, agudas o crónicas de contaminación que permitan implementar la solución más adecuada. La detección de especies o asociaciones indicadoras no sólo servirá para detectar el problema sino que en caso de que se implementen medidas reparadoras, ellas podrán utilizarse para evaluar su grado de efectividad.

### **AGRADECIMIENTO**

Este trabajo fue financiado por el proyecto UBACYT X046.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- AENOR. 2005. Norma española UNE-EN 13946, 2004. Calidad del agua. Guía para la identificación, recuento e interpretación de muestras de diatomeas bentónicas de ríos. 16 pp.
- BAHLS, L. 1993. Peryphyton bioassessment methods for Montana streams. Water quality Bureau, department of Health and Environmental Sciences, Helena, MT.
- BORSANT, G. y PREMAZZI, G. 1992. Gli indici biotici utilizzati per la valutazione della qualità delle acque dolci superficiali. EUR 14488 IT. Commissione della Comunità Europea. Centro Comune di Ricerca. Istituto dell' Ambiente. 78 pp.



- BUTCHER, R.W. 1947. Studies in the ecology of Rivers. IV. The algae of organically enriched water. *J. of Ecology* 35:186-191.
- CAIRNS, J. Jr., 1990. The genesis of biomonitoring in aquatic ecosystems. *Environ. Prof.* 12: 169-176.
- CEMAGREF. 1982. Etude des methods biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. Rapport Q.E. Lyon, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse-Cemagref, Lyon. 218 pp.
- CEN. European Committee for Standardization, 2004. Water Quality. Guidance standard for the identification, enumeration, and interpretation of benthic diatom samples from running waters. pr EN 14407.
- CONFORTI, V. 1998. Morphological changes of Euglenophyta in response to organic enrichment. *Hydrobiologia*. 369/370: 277-285.
- DESCY, J.P. y COSTE, M. 1990. Utilisation des diatomées benthiques pour l'évaluation de la qualité des eaux courantes. Raport final. Univ. Naur, CEMAGREF Bordeaux CEE-B. 112 pp.
- DELL'UOMO, A., 2004. L'indice diatomico di eutrofizzazione/polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti. Linee guida. A.P.A.T., A.R.P.A.T. 101 pp.
- DIXIT, S. y SMOL, J. 1994. Diatoms as environmental indicators in the Environmental Monitoring and Assessment Program – Surface Waters (EMAP-SW) program. *Environ. Monit. Asses.* 31: 275-306.
- ECTOR L. y RIMET, F. 2005. Using bioindicators to assess rivers in Europe: An overview. En: S. Lek, M. Scardi, P. Verdonshot, J. Descy y Y Park (eds.). *Modelling community structure in freshwater ecosystems*. Springer Verlag, Berlin: 7-19.
- FJERDINGSTAD, E. 1950. The microflora of the River Molleaa with special reference to the relation of benthic algae to pollution. *Folia Limnologica Scandanavica* 5: 1-123.
- GOMÀ, J., RIMET, F., CAMBRA, J., HOFFMANN, L. y ECTOR, L. 2005. Diatom communities and water assessment in mountain rivers of the upper Segre basin (La Cerdanya, Oriental Pyrenees). *Hydrobiologia* 551: 1-17.
- GONZÁLEZ DEL TANGO, M. 1978. Estudio biológico de las aguas para su planificación. Coloquio Nacional sobre Ordenación territorial. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid.
- GÓMEZ, N., 1999. Epipellic diatoms from the Matanza-Riachuelo river (Argentina), a highly polluted basin from the pampean plain: biotic indices and multivariate analysis. *Aquatic Ecosystem Health and Management* (2): 301-309.
- GÓMEZ, N. y LICURSI, M. 2001. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquatic Ecology* (35):173-181.
- HUNSTMAN, S. y SUNDA, G. 1980. The role of the trace metals in regulating phytoplankton. En: Morris (Ed.). *The physiological ecology of phytoplankton*. Blackwell. pp. 285-328.
- KALFF, J. 2002. *Limnology: inland water ecosystems*. Upper Saddle River, Prentice – Hall, Inc.
- KELLY, M.; CAZAUBON, A.; CORING, E.; DELL'UOMO, A.; ECTOR, L.; GOLDSMITH, B.; GUASCH, H.; HÜRLIMANN, J.; JARLMAN, A.; KAWECKA, B.; KWANDRANS, J.; LAUGASTE, R.; LINDSTRM, E.; LEITAO, M.; MARVAN, P.; PADISÁK, J.; PIPP, E.; PYRGIEL, J., ROTT, E.; SABATER, S.; VAN DAM, H. y VIZNET, J. 1998. Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessment in Europe. *J. Appl. Phycol.* 10: 215-224.
- LANGE - BERTALOT, H., 1979. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water

- quality estimation. *Nova Hedwigia* 64: 285-304.
- LEYNAUD, G. 1979. Efectos tóxicos de la polución sobre la fauna piscícola. En: Pesson, P. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. *La contaminación de las aguas continentales. Incidencias sobre las biocenosis acuáticas*: 159-174.
- OCDE, 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. OCDE, Paris, 154 pp.
- PRYGIEL, J. y COSTE, M. 1998. Progress in the use of diatoms for monitoring rivers in France. En: Prygel J., B. A. Whitton y J. Bukowska (eds). *Use of Algae for Monitoring Rivers III*. Agence de l'Eau Artois-Picardie, Douai, France. Pp. 165-179.
- MARGALEF, R. 1955, *Los organismos indicadores en la Limnología*. Instituto Forestal de Investigación Experimental. 308 pp.
- MARGALEF, R. 1969. El concepto de polución y sus indicadores biológicos. Documentos de investigación hidrológica. *Suplemento Agua* 7: 105-133.
- MARTINEZ DE BASCARAN, G. 1979. Establecimiento de una metodología para conocer la calidad del agua. *Bol. Inf. Medio Ambiente* 9: 30-51.
- MINCIARDI, M.R.; ROSSI, G.L.; AZOLLINI, R. y BETTA, G. 2003. Linee guida per il biomonitoraggio di corsi d'acqua in ambiente alpino. ENEA. Sezione Biologia Ambientale e Conservazione della Natura. Provincia di Torino, Italia. 65 pp.
- PEREZ HECHAVARRÍA, E.; COMAS GONZALEZ, A.; SAN PEDRO MIRALLES, A. y VEITÍA CANDÓ, E. 2003. Métodos biológicos para el monitoreo de aguas superficiales. Su aplicación en el río San Juan. *Tecnología Química* 23(3): 35-44.
- REYNOLDS, C.S.; HUSZAR, V.; KRUK, C.; NASELLI FLORES L. y MELO, S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* 24: 417-428.
- RIVELLA, E. 2003. La valutazione dell'ecosistema fluviale e la progettazione delle casse d'espansione in Ingegneria Naturalistica. En: Rosso R. (Ed.) *Ingegneria naturalistica: del progetto al risultato*. C.N.R. g.n.c.d.i. n° 2817 CUSL Milano.
- RODRIGUEZ, C.; ROCHETTA, I.; JUAREZ, A.; TOLIVIA, A. y CONFORTI, V. 2008. Toxicidad de los metales pesados sobre las microalgas: efectos bioquímicos, fisiológicos y morfológicos. En "Efecto de los cambios globales sobre biodiversidad". Ed. A. Rial, A. Volpedo, L. Fernández Reyes. Red Cytod 406RT0285 "Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica". Buenos Aires, Argentina. pp. 261-280.
- ROTT, E.; PIPP, E. y PFISTER, P. 2003. Diatom methods developed for river quality assessment in Austria and a cross-check against numerical trophic indication methods used in Europe. *Algol. Stud.* 110: 91-115.
- SLÀDEČEK, V. 1973. System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol.* 7: 1-218.
- STEVENSON, R.J. y BAHLS, L. 1999. Periphyton protocols. En: Barbour, M, Gerritsen, J. Zinder, B. Eds. *Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers: Peryphyton, benthic macroinvertebrates, and fish*. EPA 841-B-99-002. U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, pp 6-22.
- STOERMER, E. y SMOL, J. 1999. The diatoms: Applications for the environmental and earth sciences. Cambridge Univ. Press., Cambridge, U. K., 484 pp.
- TELL, G. y VINOCUR, A. 1991. Taxonomy, morphological variability, and ecology in *Scenedesmus opoliensis* Richt. (Chlorococcales). *Cryptogamic Botany*, 2(2/3): 93-103.
- VÁZQUEZ, S.; CASTRO MEJÍA, G.; GONZALEZ MORA, I.; PÉREZ RODRÍGUEZ, R. y CASTRO BARRERA, T. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *Contactos* 60: 41-48.

- WEBER, C.I. 1973. Recent developments in the measurement of the response of plankton and periphyton to changes in their environment. En: Glass, G., Ed., *Bioassay techniques and environmental chemistry*. Am. Arbor Sc. Publ., Ann. Arbor, MI, pp. 119-138.
- WHITON, B.A. y ROTT, E. Eds., 1996. *Use of algae for monitoring rivers II*. Univ. Innsbruck, Innsbruck, Austria, 196 pp.
- WHITON, B.A.; ROTT, E. y FRIEDRICH, G. Eds., 1991. *Use of algae for monitoring rivers*. Institut für Botanik, Univ. Innsbruck, Innsbruck, Austria, 193 pp.



# ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO Y AVES EN ARGENTINA: PROBLEMÁTICA PARA SU CONSERVACIÓN

*Climate change scenarios and birds in Argentina: problems for conservation*

**Martín Andrés Díaz**

Programa Gestión Ambiental Antártica – FAA / Comité Ejecutivo Convenio MINDEF-  
APN / Proyecto PICT20062007 ANCYT/UNQ  
Sullivan 450 Torre B1 Dpto. 3ro D – San Antonio de Padua – Pcia. de Buenos Aires –  
Argentina  
martinandresdiaz@yahoo.com.ar

## RESUMEN

Debido a la utilización de las aves como bioindicadores en los planes de monitoreo de áreas naturales, por su mayor detectabilidad y facilidad de muestreo en relación a otros grupos de vertebrados, el objetivo de esta primera etapa de trabajo consistió en poder establecer los escenarios regionales de posibles efectos sobre las poblaciones y comunidades de aves de Argentina con el propósito de ser incorporados a en las políticas de conservación. A los fines del objetivo propuesto, se implementaron varias líneas de trabajo: (1) realizar un análisis de los modelos de diversidad regional y geográfica que explican la diversidad de aves a escala regional y continental a partir de variables climáticas, (2) inventariar, a partir de trabajos de investigación, las variables climáticas y efectos que han tenido sobre los distintos niveles de organización (individuos, población, etc.) de las aves, y (3) inventariar los cambios climáticos regionales establecidos y esperados para Argentina. A partir del cruzamiento de los resultados obtenidos en las tres líneas anteriores, se determinaron los efectos potenciales sobre la fauna ornitológica y la factibilidad de predicción, en distintas regiones del país, planteándose escenarios provisorios de modificación de diversidad y sus consecuencias en la conservación. Se puede establecer desde este trabajo exploratorio que es necesario diseñar y realizar trabajos de campo a mediano y largo plazo, que permitan monitorear los efectos esperados sobre la diversidad de aves a fin de determinar la bondad y el ajuste de los escenarios propuestos.

**Palabras clave:** Cambio climático, aves, efectos, variables, escenarios.

## ABSTRACT

Due to the use of birds as bioindicators to monitor the plans of natural areas for their easy detectability and ease of sampling in relation to other groups of vertebrates, the objective of this first stage of work has been to establish regional scenarios possible effects on bird populations and communities of Argentina for the purpose of being incorporated into future conservation policies. For the proposed objective, they implemented several lines of work: (1) realize an analysis of patterns of regional and geographical diversity that explain bird diversity at regional and continental levels from climatic variables, (2) inventory to from research papers, the climatic variables and effects of that have taken on different levels of organization (individual, population, etc..) of birds and (3) inventory the established regional climate changes and expected to Argentina. From the crossing of the proceeds in the three previous lines, identified the potential effects on bird fauna, and the feasibility of prediction in different regions of the country considering scenarios temporary modification of diversity and its impact on

conservation. It can be set from this exploratory work is necessary to design and conduct field work in the medium and long term monitoring to enable the expected effects on the diversity of birds for the purpose of determining the value and the adjustment of the proposed scenarios.

**Key words:** climate change, birds, effects, variables, scenarios.

## **INTRODUCCIÓN**

Una de las estrategias más comunes para el monitoreo de áreas naturales es la utilización de las aves como bioindicadores (Sayre *et al*, 2000). Esto se debe a que poseen una mayor facilidad de detección y observación, lo que da como resultado que sean el grupo de vertebrados con técnicas de muestreos más sencillas (Cody y Smallwood, 1996; Gaston y Blackburn, 2006).

En las últimas décadas, el cambio climático ha incrementado significativamente la preocupación de las instituciones involucradas en la conservación de comunidades y ambientes naturales por sus impactos sobre la riqueza de especies (Crick, 2004; McCarty, 2001).

Pero, ¿qué cambios observados en la diversidad de aves podrían deberse al actual cambio climático? ¿Cómo impactarían estos cambios en la conservación de las mismas? Es necesario, entonces, comprender los posibles efectos del clima y su variabilidad sobre los distintos niveles de organización aviar (individuos, población y comunidad) (Moller, 2004, Newton, 2003), a los fines de establecer estrategias de conservación para minimizar los efectos del cambio climático.

Este trabajo tiene como objetivo general, establecer los escenarios regionales de posibles efectos sobre las comunidades de aves de Argentina. Como objetivos particulares se plantean: (1) determinar la escala a la cual el efecto del clima es significativo, (2) determinar las variables climáticas que han presentado efectos sobre la distribución de las aves, (3) establecer el marco teórico desde la teoría de ecología que permita explicar y/o predecir la relación clima y aves y (4) plantear los posibles efectos regionales sobre las comunidades de aves en la Argentina.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Este trabajo busca explorar la relación entre las aves y el clima a los fines de los objetivos propuestos. Se implementaron varias líneas de trabajo de revisión bibliográfica, y se realizó un análisis de los modelos de diversidad regional y geográfica que explican la diversidad de aves a partir de variables climáticas.

En una segunda etapa, a partir de trabajos de investigación publicados, se inventariaron las variables climáticas y efectos que han tenido sobre los distintos niveles de organización (individuos, población, etc.) de las aves. A partir de estos datos se determinaron y analizaron algunas de las teorías de ecología que pueden aplicarse a los patrones y procesos ecológicos implicados en la relación diversidad de aves y clima.

Finalmente, a partir de los resultados anteriores y de los cambios climáticos regionales esperados para Argentina, según los informes científicos publicados, se plantean posibles escenarios regionales de efectos del cambio climático sobre las aves.

## **RESULTADOS**

### **Escala de la relación entre clima y diversidad de aves**

En una de las recopilaciones más importante sobre la dinámica de las poblaciones de aves, Ian Newton (2003) señala que existe una cantidad elevada de factores que afectan

a las aves. Entre ellos considera el tiempo y el clima, pero no les da una importancia central. ¿Tiene realmente poca significancia el clima en la riqueza de aves? Para responder esta pregunta se debe tener en cuenta la escala, dado que “los patrones y procesos ecológicos que los producen son dependientes de la escala espacial y temporal sobre la cual son observados” (Cueto, 2006). Es necesario determinar a qué escala es relevante la relación del clima con la diversidad de aves por sobre otros procesos.

Root (1988) indica que una hipótesis sostiene que los factores abióticos como el clima determinan la distribución y abundancia de especies a gran escala. A nivel local los factores bióticos predominan y dado que la mayoría de los estudios en ecología se realizan a esta escala, se enmascara el papel del clima como principal determinante de la distribución y riqueza de aves. Gaston y Blackburn (2006) señalan, por ejemplo, que los estudios a gran escala (regional, nacional o biogeográfica) comprenden no más del 10% de los trabajos publicados en las principales publicaciones científicas sobre aves.

Para el caso de Argentina, siguiendo una secuencia espacial (por la imposibilidad de mencionar todos los trabajos), Cueto y López de Casenave (2000) analizan la relación entre passeriformes y la vegetación en los Talares Bonaerenses, siendo determinante la disponibilidad de follaje en altura. A escala biogeográfica, también Cueto y López de Casenave (1999) analizan el rol del clima y la vegetación sobre la diversidad de passeriformes de la Provincia de Buenos Aires. Si bien encuentran relación con el clima, el mayor porcentaje de variación fue explicado por la estructura de la vegetación.

A escala nacional, Rabinovich y Rapoport (1975) estudiaron la relación del número de especies, géneros y familias de passeriformes de Argentina con variables climáticas y topográficas. El resultado determinó una correlación con un valor de 0.75 entre la riqueza de especies y la temperatura media anual, lo que indicaba que a nivel biogeográfico el clima tienen una asociación significativa sobre la diversidad de aves.

Finalmente a escala continental se pueden citar los trabajos de Hawkins et al (2003) y Rahbek y Graves (2001) que estudiaron el gradiente latitudinal de diversidad. En el primer caso la riqueza de especies de aves para el Neotrópico está significativamente correlacionada con los valores de evapotranspiración actual (0.775). En el segundo trabajo, la riqueza de especies de Sudamérica posee una correlación cercana a 0.80 con un grupo de variables climáticas y topográficas.

Los antecedentes indican que, a escala regional y continental, los patrones de diversidad tienen una correlación significativa con las variables climáticas. Es por lo tanto a esta escala donde sería posible observar los efectos del cambio climático.

### **Efectos del clima y el cambio climático sobre las aves**

La literatura científica de los últimos 30 años contiene cada más evidencia de los efectos del clima y su variabilidad sobre los distintos niveles de organización aviar, clasificándola, siguiendo a Crick (2004) y McCarty (2001), en:

(1) Cambios en la distribución y el rango geográfico: ésta es una de las asociaciones mejor establecidas y estudiadas. Se ha determinado por ejemplo que algunos límites están asociados con determinado valor de las isoterms de invierno (Root, 1988) para un alto porcentaje de especies. A partir de esa relación se ha observado extensión de territorios siguiendo el corrimiento de las isoterms. Asimismo, también se han detectado contracción de rangos de distribución y cambios altitudinales en las regiones montañosas en relación a la altura de la isoterma de 0°C (Böhning-Gaese y Lemoine, 2004 y Mehlman, 1997).

(2) Cambios en la fenología: ésta es sin duda alguna el área de estudio donde existe mayor evidencia de la relación aves y clima y por lo tanto de los efectos del cambio del mismo. Los estudios se orientan específicamente hacia las aves migratorias, las cuales

son señaladas como las más sensibles en este aspecto (Thorup et al, 2007). Los diversos efectos sobre distintos aspectos de la fenología de las aves (variación del día de arribo, día de partida, distancia de migración, etc.) están detallados en Moller (2004).

(3) Impacto sobre factores demográficos: estos efectos han sido menos estudiados que la fenología, dado que la dinámica poblacional está sujeta a un amplio espectro de factores que determinan los parámetros poblacionales (Crick, 2004). Por este motivo, el efecto del clima puede ser difícil de aislar del resto de los procesos. Sin embargo, diversos estudios mostraron evidencia de modificación de tamaño de los huevos, de la nidada, de el éxito reproductivo, etc. (Dunn, 2004).

(4) Cambios poblacionales: tanto Crick (2004) como McCarty (2001) señalan tendencias poblacionales en aumento o descenso en relación a distintas variables climáticas. También hay que tener en cuenta que detectar este tipo de cambios puede ser afectado por un enmascaramiento por regulación denso-dependiente. A pesar de esto, numerosos estudios han determinado una relación significativa entre el número de individuos (N) y diversas variables climáticas (Saether *et al*, 2004).

(5) Cambios a nivel comunidades: involucra los cambios en la riqueza y composición de especies en las comunidades de aves en función de los factores climáticos, entre los que existe una correlación significativa (Begon, 2006). La mayoría de los estudios a largo plazo han investigado y detectado cambios en la composición de especies migratorias. Los estudios de comunidades fueron realizados usando modelos, siendo aún notorio el déficit de trabajos de campo debido a la escala temporal y espacial necesaria (Böhning-Gaese y Lemoine, 2004).

(6) Cambios en la morfología, fisiología y conducta: los cambios climáticos observados en las últimas décadas pueden afectar las especies de aves de acuerdo a su plasticidad fenotípica (Crick, 2004). Esto ya fue indicado por Root (1988), demostrando que no todas las especies tienen su distribución asociada a factores climáticos. Desde el punto de vista evolutivo, el cambio en las condiciones ambientales podría provocar cambios adaptativos en la especie, llevando a la modificación de algún elemento de su morfología, fisiología y/o conducta. Los estudios deben demostrar si los organismos responden evadiendo las nuevas condiciones o adaptándose a ellas.

### **Variables climáticas con efectos significativos**

Las tablas 1, 2 y 3 resumen las variables climáticas que numerosos estudios en distintas partes del globo han demostrado que tienen efectos significativos sobre los individuos, poblaciones o comunidades de aves.

Aunque las tablas son un resumen, del análisis de las mismas se puede determinar que el clima afecta el ciclo de vida y todos los niveles de organización de las aves, tanto los valores promedio de sus variables como su variabilidad. Otro aspecto es que en la mayoría de los casos, para obtener resultados significativos, se necesitan estudios a largo plazo.



Tabla 1: Variables climáticas que han tenido efecto significativo a nivel individuos y fenología. Las citas de los ejemplos puede consultarse en Crick (2004), McCarty (2001 y Moller (2004).

<b>Rasgo</b>	<b>Variable Climática</b>	<b>Ejemplos</b>
Fecha arribo	NAO	Møller (2004)
Fecha arribo	Temperatura media	Barrett (2002)
Fecha promedio de arribo	Temperatura media	Møller (2004)
Fecha de partida	Temperatura media	Tim H. Sparks (2004)
Tiempo de Migración	NAO	Tim H. Sparks (2004)
Tiempo de Migración	Temperatura media	Siriwardena and Wernham (2002)
Distancia de migración	Temperatura media	Soutullo (2003)
Tasa metabólica basal	Temperatura invernal	Root (1998)
Día de puesta	Temperatura media	Eeva et al. (2000)/ Arcese <i>et al.</i> (2002)
Días de incubación	Temperatura media	Wang <i>et al.</i> (2002)
Tamaño nidada	Temperatura media	Winkler <i>et al.</i> (2002)
Número de huevos	Temperatura media	Przybylo <i>et al.</i> (2000)
Jóvenes que maduran	SOI	Sillet <i>et al.</i> (2000)
Cavidades ocupadas	Lluvia caída	Rodriguez and Bustamente (2003)

NAO: Northern Atlantic Oscillation Index y SOI: Southern Oscillation Index

Tabla 2: Variables climáticas que han tenido efecto significativo a nivel poblacional. Las citas de los ejemplos puede consultarse en Crick (2004), McCarty (2001 y Moller (2004).

<b>Rasgo</b>	<b>Variable Climática</b>	<b>Ejemplos</b>
N	SOI	Barbraud and Weimerskirch (2003)
Cantidad de machos	Días sin heladas	Gardarsson and Einarsson (1997)
$\Delta N$	Pp marzo	Møller (1989)
N	Temperatura media	Slagsvold (1975)
N	Lluvia caída	Grant et al. (2000)
N	Días con nevada	Greenwood and Baillie(1991)
N	El niño (frecuencia)	Grant et al. (2000)
N	Temperatura media verano	Persson (1987)
N	Temperatura media invierno	Arcese <i>et al.</i> (1992)
$\Delta N$	SST	Barbraud and Weimerskirch (2001)

Pp: precipitation, SST: surface sea temperature, NAO: Northern Atlantic Oscillation Index y SOI: Southern Oscillation Index.

N: tamaño poblacional (nº de individuos) y  $\Delta N$ : cambio en tamaño poblacional de un año al otro.

Tabla 3: Variables climáticas que han tenido efecto significativo sobre la distribución y las comunidades de aves. Las citas de los ejemplos pueden consultarse en Crick (2004), McCarty (2001) y Moller (2004).

Rasgo	Variable Climática	Ejemplos
Área de nidificación	Temperatura media	Zockler and Lysenko (1994)
Expansión de distribución	Temperatura media	Erasmus <i>et al.</i> (2002)
Contracción de distribución	Temperatura media	Erasmus <i>et al.</i> (2002)
Contracción de distribución	[CO <sub>2</sub> ]	Peterson (2003a)
Límite latitudinal	Isotermas invernales	Root (1998)
Límite altitudinal	Altura Isoterma 0°	Peterson (2003)
Riqueza de especies	Temperatura media	Currie (2001)
Riqueza de especies	Precipitación	Begon (1996)
Riqueza de especies	Evaporación Actual	Hawkins (2001)
Riqueza de especies	$\Delta T$	Cody (1975)
% residentes	$\Delta T$	Lemoine and Bohning-Gaese (2003)

[CO<sub>2</sub>]: concentración del dióxido de carbono y  $\Delta T$ : Temperatura media del mes más cálido – Temperatura media del mes más frío.

### Marco teórico de ecología para explicar la relación aves y clima

Explicar y/o predecir el posible impacto del cambio climático sobre las aves representa un desafío y, a la vez, una oportunidad de testear distintas teorías de ecología en función de la conservación. Dado que esta disciplina tiene como dominio el estudio científico de los procesos que influyen la distribución y abundancia de los organismos, la interacción entre ellos y la interacción entre los organismos y la transformación y flujo de energía y materia (Collins, 1986). Sus teorías serían el marco teórico para el problema del cambio climático y la conservación de las aves.

Desde alguna de sus teorías constituyentes se debe explicar el patrón espacial y temporal de la distribución de las aves a causa del clima. Este debe ser además el punto desde donde proponer la hipótesis a verificar sobre el efecto del cambio de clima sobre las aves.

¿Cuál puede ser entonces el patrón y su respectiva escala desde donde construir un análisis de la relación aves y cambio climático? Ya se mencionó que los efectos del clima sobre las aves se observan a escala regional o biogeográfica. Un patrón importante que estudia la ecología a ese nivel, es el gradiente latitudinal de diversidad y sus hipótesis derivadas (Scheiner y Willig, 2008). Existe una fuerte relación estadística entre la variación de la riqueza de especies a gran escala y el clima (Currie *et al.*, 2004).

La mayoría de las hipótesis propuestas para explicar este gradiente han sido desestimadas (Pianka, 1966), sin embargo, las que se basan en el clima “energy hypothesis” han recibido en las últimas décadas una particular atención.

Para un patrón a gran escala como es el gradiente latitudinal, las hipótesis a partir del clima y sus variables asociadas con la energía han recibido mucho apoyo empírico (Hawkins *et al.*, 2003). Pocas dudas existen hoy sobre la influencia que el clima tiene sobre los patrones a gran escala de distribución de especies de aves (Cueto, 2006; Gaston, 2006; Rabinovich y Rapoport, 1975; Rahbek y Graves, 2001; Root, 1998; Scheiner y Willig, 2008).

El alcance de este trabajo no permite el desarrollo de todas las teorías constituyentes de la ecología que tienen relación con el tema, por ejemplo la teoría del nicho, la teoría de la dinámica poblacional, la teoría metabólica de la ecología y la teoría unificada de los gradientes de diversidad (Scheiner y Willig, 2008). Por ese motivo se utilizará la aplicación de la teoría del gradiente latitudinal de diversidad y sus hipótesis derivadas como marco teórico principal.

Está claro que el patrón geográfico de diversidad varía con la temperatura y/o la disponibilidad de agua, con una correlación entre 70 y el 90% (Currie, 2004). Una de las hipótesis que más apoyo recibió es la de riqueza-energía (Srivastava y Lawton, 1998), quedando en discusión aún el mecanismo que explique la covariación geográfica del clima y la riqueza de especies.

La hipótesis plantea que la riqueza de especies varía en función del número total de individuos en un área. La producción primaria neta (PPN) limita el número de individuos, y como el clima afecta fuertemente la PPN (Currie, 2004), entonces también lo hace sobre el número de especies. El supuesto detrás de esta hipótesis para explicar el gradiente de diversidad, es que cada grupo taxonómico debe usar la misma fracción del total de PPN, entonces habrá más especies donde haya más PPN. Los trabajos a nivel Sudamérica sobre riqueza de aves han encontrado una correlación significativa y alta entre variables energéticas y riqueza, lo cual da apoyo a este supuesto (Hawkins et al, 2003 y Rahbek y Graves, 2001).

Veamos claramente algunas relaciones que se desprenden de esta hipótesis:

- (a) El número total de especies  $S$  en un sitio es proporcional al número de individuos (Fischer, 1943) y ambos covarían (Currie, 2004)
- (b) La PPN limita el número de individuos, por lo tanto limita la riqueza de especies.
- (c) El clima afecta significativamente la PPN, su variación se correlaciona fuertemente con el clima, entonces afecta el número de individuos y finalmente la riqueza de especies (Hutchinson, 1959).
- (d) La PPN se puede estimar con la evapotranspiración actual (AEP) (Wright, 1983) y la AEP tiene una fuerte correlación con la riqueza de aves en Sudamérica (Hawkins et al, 2003 y Rahbek y Graves, 2001).
- (e) Existe una relación entre el número de individuos y el área, siempre y cuando la densidad se mantenga constante (Preston, 1962), así en áreas mayores, habrá mayor número de individuos y por lo tanto mayor riqueza de especies.

Existe también una hipótesis que relaciona la estacionalidad de un sitio, entendida como la diferencia entre la temperatura del mes más cálido menos la del mes más frío ( $\Delta T$ ) y la riqueza de especies (Cody, 1975) o el porcentaje de residentes (Lemoine y Bohning-Gaese, 2003). Un patrón de este tipo permitiría tener un modelo para explicar o predecir cambios en la riqueza de aves en Sudamérica y Argentina.

## **DISCUSIÓN**

A partir de los efectos encontrados, las variables climáticas con las cuales se relacionan, los patrones y procesos ecológicos y las teorías que los explican, se realiza un análisis exploratorio de los posibles escenarios de conservación de las aves en función de los cambios climáticos que los informes e investigaciones mencionan.

Dada la gran cantidad de estudios realizados que imposibilitan su tratamiento detallado en este trabajo, se toma como referencia la Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático del 2007.

### **Efectos generales sobre la riqueza de aves para Argentina**

Uno de los posibles cambios que se proponen para Argentina en el Segundo Informe y en numerosos trabajos, es el aumento mayor de las temperaturas invernales en relación a las de verano, debido a tendencias opuestas, con excepción de la Patagonia. De ser así, se continuaría observando un patrón de disminución de la amplitud térmica anual ( $\Delta T_{\text{anual}}$ ) entre los meses de verano e invierno como en las última décadas.

Cody (1975) encontró que el  $\Delta T_{\text{anual}}$  tiene relación con la riqueza de aves. Si bien en ese momento no pudo relacionar de manera precisa la causa de este patrón, en los últimos años crece la evidencia que indica que el  $\Delta T_{\text{anual}}$  influye sobre la relación entre las especies de aves residentes y las migratorias, limitando el número de estas últimas (Lemoine y Bohning-Gaese, 2003).

Si los estudios sobre el cambio climático futuro continúan afirmando la modificación del  $\Delta T_{\text{anual}}$ , es necesario poner atención en la posible pérdida de riqueza de aves por este proceso, de confirmarse el mismo patrón comprobado en otros continentes.

Los desplazamientos de las isotermas pueden tener efectos de contracción o expansión de la distribución de algunas especies.

### **Efectos generales sobre la riqueza de aves para la región andina**

Se pueden mencionar tres procesos de cambio climático para esta región que implica la Cordillera de los Andes al norte de los 30°S. Primero, las evidencias indican un aumento de la altura de la isoterma de 0°C, lo cual implica un desplazamiento altitudinal de las especies (Peterson, 2003). Esto podría determinar una posible disminución de la riqueza ya que a mayor altura menor es el área y por lo tanto, según las hipótesis de Preston (1992) y Fisher (1943), a menor área menor riqueza. El patrón de disminución de la riqueza con la altitud para el caso de la aves tiene evidencia significativa (Begon, 2006), sin embargo, los resultados no son concluyentes.

Para esta región también se señala la tendencia de la disminución de la  $\Delta T_{\text{anual}}$ , con los efectos ya mencionados, pero que en el caso de Argentina aún necesitan evidencia que sustente los patrones que relacionan ambas variables ( $\Delta T_{\text{anual}}$  y Riqueza). La disminución en la precipitación observada en las últimas décadas y que es proyectada para el 2020/2040, provocarían un aumento del estrés hídrico con lo cual una disminución de la productividad. Como se mencionó, la PPN limita el número de individuos, por lo tanto la riqueza de especies.

La elevación de la altura de la isoterma de 0°C, la disminución del  $\Delta T_{\text{anual}}$  y la mayor aridez por disminución de las precipitaciones, provocarían que esta región pueda presentar importantes problemas de conservación de la riqueza de aves.

### **Efectos generales sobre la riqueza de aves en la región de los Bosques Patagónicos**

Al igual que al norte de los 30°S, los cambios observados en las últimas décadas y los proyectados son coincidentes (elevación isoterma, disminución  $\Delta T_{\text{anual}}$  y disminución de precipitaciones). A diferencia de la región anterior, los ecosistemas cordilleranos presentan una mayor riqueza y diversidad de aves que aquellos de menor altitud.

Con respecto a la riqueza, debido a la menor área posible de distribución a mayor altura y la pérdida de la estacionalidad, se indica que es posible un ingreso del monte a mayor altitud con la consiguiente pérdida de los bosques debido a una menor productividad por el mayor estrés hídrico. Como ya se mencionó, uno de los patrones con mayor evidencia es la relación entre la productividad y la riqueza de aves, con lo cual llevaría un una disminución de la riqueza de aves. Ésta región presenta numerosas especies endémicas, que al ver reducida su área de distribución podría resultar en un estado crítico de conservación.

### **Efectos generales sobre la riqueza de aves en la región de la Patagonia**

En esta región los cambios proyectados indican una elevación de la temperatura y una mayor aridez, con lo cual disminuiría la productividad. La temperatura en la Patagonia ha sufrido, en las últimas décadas, un significativo ascenso, especialmente en la segunda mitad del siglo XX (más de 1°C). Sin embargo, algunos trabajos señalan que la tendencia se ha detenido y hasta revertido. Por otro lado, los modelos señalan una reducción de la precipitación, con lo cual lo indicado para la productividad llevaría a una posible reducción de la riqueza general de aves en la región.

Esta región merecería un estudio pormenorizado, dado que también se ha indicado que no van a existir cambios significativos en la precipitación, si esto se relaciona con la reversión o estabilidad de la temperatura proyectada, el escenario de la productividad/riqueza sería diferente.

Dado que existen trabajos que correlacionan los límites latitudinales con determinadas isotermas en distintas partes del mundo (e.g. Root, 1988), podrían algunas especies desplazar su límite sur de distribución hacia mayores latitudes, debido al calentamiento pronosticado.

Finalmente, esta región no escapa a los efectos de la disminución de  $\Delta T_{\text{anual}}$  que ya se han mencionado. Dada la importante presencia de especies migratorias, especialmente en la zona costera, la relación residentes/migradores en función de  $\Delta T_{\text{anual}}$  podría requerir especial atención.

### **Efectos generales sobre la riqueza de aves en la región Centro y Norte del país**

El segundo informe nacional señala que los modelos y el conocimiento del clima regional para esta zona hacen esperar un aumento de la temperatura media y ausencia de cambios significativos en la precipitación respecto a los valores de la actualidad. Para esta región lo más importante en relación a las aves es el aumento de la evaporación y el estrés hídrico. Esto está en contraposición a lo ocurrido en las últimas décadas e implica una tendencia hacia una mayor aridez, por lo tanto disminuiría la PPN y entonces impactaría sobre la riqueza de aves disminuyéndola.

El aumento de la precipitación con el desplazamiento de las isoyetas hacia el oeste en el centro del país en las últimas décadas, agrava la situación porque mucha superficie está hoy ocupada por agricultura, y si la zona pasa a un clima más árido, la pérdida de riqueza de aves será mayor aún. Además de los procesos mencionados, se debería tener en cuenta la disminución de la amplitud térmica, que proporciona otro elemento de pérdida de riqueza.

Dos aspectos en relación a la conservación se deben tener en cuenta. Por un lado, la región contiene las zonas de mayor riqueza de aves (Rabinovich y Rapoport, 1975), por lo tanto, podría ser desplazado un número importante de especies por los procesos de aridez y desertificación. Por otro, las tendencias de las últimas décadas fueron espacialmente heterogéneas (Minetti et al, 2003), con lo cual es necesario establecer efectos sobre áreas puntuales como la Selva Misionera, las Yungas y ambientes costeros particulares como los Talaes Bonaerenses entre otros. La posible reducción de la superficie ocupada por estos ambientes agrava el problema debido al patrón área/nº de especies ya mencionado.

### **CONCLUSIÓN**

Este trabajo tenía como objetivo realizar un análisis exploratorio de la relación entre las aves y el clima, a los fines de establecer algunas problemáticas de conservación

esperables debido al cambio climático. A continuación se exponen algunas conclusiones generales:

- (1) Los resultados y patrones establecidos en diversos trabajos indicarían que los cambios del clima observados en las distintas regiones del país, implicarían una posible disminución de la riqueza de especies, especialmente por los procesos de aridez.
- (2) Es necesario constatar mediante trabajo de campo algunos patrones de la relación riqueza de aves y clima para ajustar los posibles efectos y planificar estrategias de conservación.
- (3) A nivel regional es necesario realizar un nuevo análisis del patrón de distribución de la riqueza de especies de aves paseriformes, en función de las variables energéticas del clima (e.g. AEP y NDVI) para el país. También se precisa estudiar los patrones de distribución de las aves no-passeriformes para determinar su relación con el clima.
- (4) A diferencia de lo que ocurre en otros continentes, hay una ausencia en el país de bases de datos y seguimiento de aves a largo plazo y gran escala, para implementar una estrategia de conservación frente al cambio climático, se debería establecer una red de monitoreo nacional que permita evaluar los cambios observados.
- (5) Es necesario un desarrollo teórico adecuado que brinde las herramientas para una correcta interpretación de los cambios observados y la causalidad de los mismos.

#### **AGRADECIMIENTOS**

A E. Ginestra y K. Alleva por la lectura y corrección del manuscrito y a V. Cueto por facilitarme sus trabajos.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

- BEGON, M.; TOWNSEND, C.R. y HARPER, J.L. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystem*. Blackwell Publishing.
- BÖHNING-GAESE, K. y LEMOINE, N. 2004. Importance of climate change for the ranges, communities and conservation of birds. Pp. 211-233 en Moller, A, W Fiedler y P Berthold., 2004. (eds). *Birds and climate change*. Advances in ecological research. Volumen 35. Elsevier Academic Press.
- CODY, M.L. 1975. Towards a theory of continental species diversities. Pp. 214–257 en Cody ML y JM Diamond., 1975. (eds) *Ecology and Evolution of Communities*. Belknap Cambridge.
- CODY, M.L. 1996. Introduction to long-term community ecological studies [1]. Pp. 22-36 en Cody, ML y JA Smallwood. (eds). *Long-term studies of vertebrate community*. Blackwell Publishing.
- COLLINS, J. 1986. Evolutionary ecology and the use of natural selection in ecological theory. *J His Biol.* 19: 257-88.
- CRICK, H.Q. 2004. The impact of climate change on birds. *Ibis* 146 (Suppl. 1): 46-56
- CUETO, V.R. 2006. Escala en ecología: su importancia para el estudio de la selección de hábitat en aves. *Hornero*. 21 (1): 1-13.
- CUETO, V.R. y LÓPEZ DE CASENAVE, J. 1999. Determinants of birds species richness: role of climate and vegetation structure at regional scale. *J Biogeogr* 26: 487-492.
- CUETO, V.R. y LÓPEZ DE CASENAVE, J. 2000. Bird assemblages of protected and exploited coastal woodlands in east-central Argentina. *Willson Bull* 112: 395-402.
- CURRIE, D.J.; MITTELBACH, G.G.; CORNELL, H.V.; FIELD, R.; GUÉGAN, J.F.; HAWKINS, B.A.; KAUFMAN, D.M.; KERR, J.T.; OBERDORFF, T.; O'BRIEN E. y TURNER. J.R.G. 2004. Predictions and test of climate-based hypotheses of broad-scale variation in taxonomic richness. *Ecol Letters* 7: 1121-1134.

- DUNN, P. 2004. Breeding Dates and Reproductive Performance. Pp. 69-86 en Moller, A, W Fiedler y P Berthold., 2004. (eds). *Birds and climate change*. Advances in ecological research. Volumen 35. Elsevier Academic Press.
- FISHER, R.A., CORBET, A.S. y WILLIAMS, C.B. 1943. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *J. Anim. Ecol.*, 12, 42–58.
- GASTON, K.J. y BLACKBURN, T.M. 2006. *Pattern and Process in macroecology*. Blackwell.
- MCCARTY, J.P. 2001. Ecological Consequences of recent climate change. *Cons. Biol.* 15 (2): 320-331.
- HAWKINS, B.A.; PORTER E.E. y FELIZOLA DINIZ-FILHO, J.A. 2003. Productivity and history as predictor of the latitudinal gradient of terrestrial birds. *Ecology* 84 (6): 1608-1623.
- HUTCHINSON, G.E. 1959. Homage to Santa Rosalia, or why are there so many kinds of animals? *Am. Nat.*, 93, 145–159.
- MEHLMAN, D. 1997. Change in avian abundance across the geographic range in response to environmental change. *Ecological Applications* 7(2): 614-624.
- MINETTI, J.L.; VARGAS, W.M.; POBLETE, A.G.; ACUÑA L.R. y CASAGRANDE, G. 2003. Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera* 16 (2): 119-135.
- MOLLER, A.; FIEDLER, W. y BERTHOLD, P. 2004. (eds). *Birds and climate change*. Advances in ecological research. Volumen 35. Elsevier Academic Press
- NEWTON, I., 2003. *Population limitation in birds*. Elsevier Academic Press.
- PETERSON, A.T. 2003. Projected climate change effects on Rocky Mountain and Great Plains birds: generalities of biodiversity consequences. *Global Change Biol.* 9 (5): 647–655.
- PIANKA, E.R. 1966. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. *Am Nat* 100:33–46.
- PRESTON, F.W. 1962. The canonical distribution of commonness and rarity: Part I. *Ecology*, 43, 185–215.
- RABINOVICH, J.E. y RAPOPORT, E.H. 1975. Geographical variation of diversity in Argentine passerine birds. *J Biogeogr* 2:141-157.
- RAHBEK, C. y GRAVES, G. 2001. Multiscales assesment of patterns of avian species richness. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98 (8): 4534-4539.
- ROOT, T. 1988. Energy constrains avian distribution and abundances. *Ecology*. 69 (2): 330-339.
- SAETHER, B.E.; SUTHERLAND, W. y ENGEN, S. 2004. Climate Influences on Avian Population dynamics. P.P. 185-206 En Moller, A, W Fiedler y P Berthold., 2004. (eds). *Birds and climate change*. Advances in ecological research.
- SAYRE, R.; ROCA, E.; SIDAGHATKISSH, G.; YOUNG, B.; KEEL, S., ROCA, R. y SHEPPARD, S. 2002. *Un enfoque en la naturaleza: Evaluaciones ecológicas rápidas*. The Nature Conservancy.
- SCHEINER, S.M. y WILLIG, M.R. 2008. A general theory of ecology. *Theor Ecol.* 1:21–28.
- SRIVASTAVA, D.S. y LAWTON, J.H. 1998. Why more productive sites have more species: An experimental test of theory using treehole communities. *Am. Nat.*, 152, 510–529.
- THORUP, K.; TOTTRUP, A.P. y RAHBEK, C. 2007. Patterns of phonological changes in migratory birds. *Oecología* 151:697-703.

WRIGHT, D.H. 1983. Species-energy theory: an extension of species–area theory.  
*Oikos*, 41, 496–506.



# INDICADORES DEL SUELO COMO APORTE AL CONOCIMIENTO DE SU DIVERSIDAD BIOLÓGICA EN BOSQUES DE CHUBUT, ARGENTINA.

*Evaluation of soil indicators and their importance on the knowledge of the biologic diversity in the forest of Chubut, Argentina.*

**Diana Noemí Effron, Rosa Lina Defrieri, Gabriela Cristina Sarti, y María Fernanda Tortarolo.**

Cátedra de Química General e Inorgánica, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453. C1417DSE. Buenos Aires. Argentina.  
effron@agro.uba.ar

## RESUMEN

A nivel mundial, los bosques poseen un enorme potencial para mitigar el cambio climático global ya que cumplen un rol fundamental en la retención de carbono y en la conservación de la mayor parte de la biodiversidad genética, animal y vegetal. El conocimiento integral de estos ecosistemas permitirá desarrollar estrategias de manejo que mantengan y protejan la calidad del suelo forestal, contribuyendo así a su preservación. Los distintos tipos de cubiertas vegetales y especialmente las especies arbóreas dominantes, afectan las propiedades químicas, microbiológicas y bioquímicas de los suelos. Estas características se utilizan como indicadores potenciales de su calidad y debido a su complejidad, es necesario utilizar varios parámetros para determinar la calidad del mismo.

El objetivo de este trabajo es evaluar la influencia en el suelo de dos especies arbóreas, una nativa: Radal (*Lomatia hirsuta* Diels) y otra implantada: Roble europeo (*Quercus robur* L) sobre los valores de algunas propiedades bioquímicas y microbiológicas del mismo. El sitio de investigación se encuentra en la Estación Forestal INTA de Trevelín, Chubut, Argentina. En las muestras extraídas de estos bosques se determinó: materia orgánica, actividad de las enzimas fosfatasa ácida,  $\beta$  glucosidasa, proteasas y dehidrogenasa, como así también los recuentos microbianos (flora bacteriana total, amilolíticos, actinomicetes y hongos) y en las hojas senescentes de las especies forestales, se evaluó el contenido de fósforo, nitrógeno, lignina y celulosa.

Para el suelo debajo de la especie roble, se encontraron los valores más elevados de la actividad de fosfatasa ácida,  $\beta$  glucosidasa, proteasa, el mayor contenido de materia orgánica y el mayor número de microorganismos viables cultivables de flora bacteriana total y amilolíticos. Estos resultados contribuyen a corroborar la influencia que tienen las especies arbóreas sobre las propiedades de los suelos forestales y de este modo, permiten planificar un manejo sustentable de los mismos.

**Palabras clave:** actividad enzimática, microorganismos, radal, roble europeo.

## SUMMARY

At world level, the forests possess an enormous potential to mitigate the global climatic change since they complete a fundamental rol in the retention of carbon and the conservation of most of the genetic biodiversity, animal and vegetable. The integral knowledge of these ecosystems will allow to develop handling strategies that maintain and protect the quality of the forest floor, contributing this way to its preservation. The different types of vegetable covers and especially the dominant forest species, affect the

chemical, biochemical and microbiology properties in soils. These characteristics are used as potential indicators of their quality and due to their complexity, it is necessary to use several parameters when the quality of the same one is evaluated.

The objective of this work was to evaluate the influence in the soil of two forest species, a native one: Radal (*Lomatia hirsuta* Diels) and another implanted: European oak (*Quercus robur* L) through the values of some chemical, biochemical and microbiology properties in soil. The investigation place is the Forest Station INTA of Trevelín, Chubut, Argentina. The analytic determinations to be carry out in the soil samples were: Organic matter, activities of acid phosphatase,  $\beta$ -glucosidase, proteases and dehydrogenase enzymes, microbial counts (bacterial community, amilolitics, actinomyces and fungus), the analytic determinations to be carry out in the senescent leaves of the forest species were: phosphorous, nitrogen, lignin and cellulose.

The soil under the specie oak, showed the highest values in the activity of acid phosphatase,  $\beta$ -glucosidase and proteases enzymes, the biggest content of organic matter and the number of bacterial community and amilolitics. These results contribute to corroborate the influence that the forest species have about the properties of the forest soils and this way, they allow to plan a sustainable handling of the same ones.

**Key words:** enzyme activities, microorganisms, radal, european oak.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales guardan la mayor parte de la biodiversidad genética vegetal y animal, valiosa en términos económicos y ambientales para lo cual debe propenderse a su subsistencia. Los bosques regulan las cuencas hídricas, protegen el suelo de la erosión, generan oxígeno y absorben dióxido de carbono (gas que es el principal causante del efecto invernadero), por lo tanto estos ecosistemas juegan un importante papel en el cambio climático. En nuestro país, los bosques han sufrido y siguen sufriendo un constante deterioro, por ello el tema abordado es prioritario.

El suelo es un sistema biológico, complejo y dinámico (Nannipieri *et al.*, 2003). La calidad de este sistema suelo depende de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas (Kennedy y Papendick 1995; Nannipieri *et al.*, 2003). Las características microbianas y bioquímicas se utilizan como indicadores potenciales de su calidad. La razón de su utilización se debe a que los microorganismos del mismo están involucrados en muchos procesos bioquímicos y en los ciclos del carbono, nitrógeno y fósforo, entre otros nutrientes (Buckley y Schmidt, 2003; Clabrix *et al.*, 2007). Estas comunidades de microorganismos participan en diferentes procesos como la liberación de nutrientes en formas disponibles para las plantas, la descomposición de materiales tóxicos, la dinámica de la materia orgánica y la estructura del suelo. Si bien la biomasa microbiana representa sólo una pequeña proporción del carbono total del suelo (0.1–5% (Robert y Chenu, 1992; Clabrix *et al.*, 2007), se caracteriza por su rápido retorno, comparado con otros componentes de la materia orgánica (Sparling *et al.*, 1998), de allí la importancia de su determinación. Existe creciente interés en el conocimiento de estos parámetros a la luz de los cambios ambientales globales producidos, ya que los mismos podrían utilizarse en la planificación de estrategias de manejo forestal sustentable, de tal manera de disminuir las pérdidas de capacidad productiva de estos suelos y mantener su diversidad biológica.

Una de las características propias de la mayor parte de los ecosistemas forestales es el desarrollo sobre el suelo de una cubierta forestal que resulta de la caída de las hojas, ramas, cortezas y frutos. Se ha demostrado que la acumulación de materia orgánica por incorporación de estos restos vegetales puede ser considerable y la formación de humus

que se origina es un factor importante en la formación del suelo (Van Wesemael, 1993; Jimenez *et al.*, 2004; Ayres *et al.*, 2006). La tasa a la cual se descomponen los restos vegetales que se incorporan al suelo depende de factores ambientales y de las diferentes especies forestales (Prause, 1997; Defrieri *et al.*, 2008).

La descomposición biótica de la materia orgánica no puede ser entendida sin la participación activa de los procesos llevados a cabo por enzimas (Dilly y Nannipieri 1998). Las enzimas son proteínas cuyo papel es catalizar las reacciones químicas en los sistemas vivos y actúan sobre sustratos específicos transformándolos en productos necesarios para los ciclos biológicos. Los organismos y las plantas liberan enzimas al suelo por secreción y por lisis celular después de su muerte; un bajo porcentaje de estas proteínas quedan inmovilizadas y estabilizadas en interacción con los diferentes componentes de la fase sólida del suelo, como arcillas, moléculas orgánicas y complejos órgano-minerales (Joinville *et al.*, 2004; Cerón Rincón y Melgarejo Muñoz, 2005). Dentro del conjunto de las enzimas, las que son consideradas extracelulares (proteasa,  $\beta$  glucosidasa y fosfatasa ácida), constituyen una medida del potencial que tiene el suelo de llevar adelante los procesos responsables de la liberación de nutrientes para las plantas y microorganismos a través de la transformación y degradación de la materia orgánica (Nannipieri, 1994; Allison y Vitousek, 2005). Estas enzimas son las relacionadas con la mineralización de nutrientes, cuyos productos finales son imprescindibles para la nutrición vegetal. La actividad enzimática depende del tipo de cubierta vegetal y está vinculada a la etapa de descomposición de los residuos orgánicos (Bergstrom y Monreal 1998; Boerner *et al.*, 2005; Cerón Rincón y Melgarejo Muñoz 2005).

Desde un punto de vista bioquímico y microbiano, el estado de un suelo puede evaluarse por la medición de variables asociadas a la comunidad microbiana (Trasar-Cepeda *et al.*, 1998; Bastida *et al.*, 2006). Los parámetros tales como la biomasa microbiana brindan información de la medida de estas comunidades, mientras que otros están relacionados a la actividad general, tales como respiración, actividad de la dehidrogenasa, o específicamente relacionados con el ciclo de los elementos en el suelo, tal es el caso de la ureasa, fosfatasa y  $\beta$  glucosidasa (García *et al.*, 2002). La ventaja de la utilización de estos parámetros reside en su sensibilidad a los cambios (Nannipieri *et al.*, 1990; Dick y Tabatabai, 1993). Sin embargo, debido a la complejidad bioquímica y microbiológica del suelo, es necesario utilizar varios parámetros cuando se evalúa el estado bioquímico y microbiano (Bastida *et al.*, 2008).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia en el suelo de dos especies arbóreas: radial (*Lomatia hirsuta* Diels) y roble europeo (*Quercus robur* L) sobre los valores de algunas propiedades bioquímicas y microbiológicas del mismo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

El sitio de investigación se encuentra en la Estación Forestal INTA de Trevelín, ubicada en la Colonia 16 de Octubre, Departamento Futaleufú, Provincia de Chubut, Lat. 43° Sur, Longitud 71° 31' Oeste, altitud 470 m s.n.m. La superficie de la estación experimental es de 3020 ha. y en ella hay extensas superficies de bosque nativo y numerosas parcelas experimentales implantadas con diversas especies.

Los suelos de la Estación Forestal de Trevelín están clasificados como Andisoles. Estos suelos se caracterizan por la presencia de aluminosilicatos amorfos (alófano e imogolita), alta capacidad de almacenamiento de agua y altos contenidos de materia orgánica (Warkentin y Maeda, 1980; La Manna *et al.*, 2006). El material originario está

compuesto por cenizas volcánicas mezclado con material coluvial. El material volcánico fue transportado por el viento desde sus fuentes de emisión (volcanes) y distribuido sobre el paisaje, modelado principalmente por la acción glaciaria y formando un manto de espesor variable según la exposición, pendiente y precipitación de cada sitio (Colmet Daage *et al.*, 1988; Irisarri y Mendía 1997). El clima se caracteriza por tener precipitaciones promedio de 942 mm anuales, produciéndose el 80.6 % de las mismas entre los meses de abril y setiembre. La temperatura máxima media anual es de 15.7°C y la mínima media anual de 3.4°C. En los meses de diciembre y febrero ocurre anualmente sequía temporaria, que afecta a varias especies forestales en su crecimiento y desarrollo

### **Diseño experimental**

En el sitio de investigación se tomaron muestras de suelo ubicadas en pie de colina de suave pendiente de una fracción de bosque nativo con una especie dominante: radal (*Lomatia hirsuta* Diels.) y una parcela implantada con roble europeo o de eslavonia (*Quercus robur* L ).

Las muestras de suelo se tomaron a la profundidad de 0-10 cm, seleccionando al azar 10 árboles de cada una de las especies con portes similares (diámetro a la altura de pecho y un buen estado sanitario). Las mismas fueron extraídas debajo de cada árbol de las distintas especies forestales y a una misma distancia del tronco de los árboles seleccionados, para evitar la heterogeneidad espacial y a una distancia de por lo menos de 5 m de los bordes de cada sitio estudiado.

Dichas muestras se obtuvieron en octubre del año 2008. Las muestras húmedas se guardaron en bolsas plásticas que se mantuvieron refrigeradas a 4°C hasta su análisis en el laboratorio y fueron tamizadas por malla de 2 mm. Las determinaciones analíticas se realizaron por triplicado sobre cada una de las 20 muestras de suelo ubicado debajo de cada especie arbórea. Los resultados se expresaron en base a suelo secado a 105°C hasta peso constante.

Determinaciones analíticas realizadas en las muestras de suelo y hojas senescentes:

- Actividad de la dehidrogenasa según técnica de Gong (1996).
- Actividad de la fosfatasa ácida: según técnica de Dick *et al.*, (1996) (sin el agregado de tolueno).
- Actividad de proteasas: según técnica modificada por Dilly y Munch (1996).
- Actividad  $\beta$ - glucosidasa según técnica de Dick *et al.*, (1996).
- Materia orgánica según técnica de Nelson y Sommers (1982).
- Lignina y celulosa foliar según técnica de Van Soest y Goering (1970).
- Recuentos de flora heterótrofa total, amilolíticos, actinomices y hongos según Frioni (1990).

### **Análisis Estadístico**

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza de una vía. Previamente se comprobó la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianza. Las diferencias entre medias de tratamientos fueron determinadas mediante el test de Tukey ( $p < 0.05$ ).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El análisis estadístico de los datos de las actividades enzimáticas (fosfatasa ácida,  $\beta$  glucosidasa y proteasa) indica que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre

ellos, encontrándose los mayores valores en el suelo debajo de la especie roble con respecto a la especie arbórea radal.

La medición de la actividad de enzimas intracelulares como el complejo dehidrogenasa, sería una forma de evaluar la actividad oxidativa total de la célula y por lo tanto, constituiría una medida de la actividad de la población de microorganismos viables (Beyer *et al.*, 1993). En nuestro trabajo, no se obtuvieron diferencias significativas en los casos estudiados.

Para el suelo debajo de la especie roble, se encontró una alta correlación entre los valores de las actividades enzimáticas (fosfatasa ácida,  $\beta$  glucosidasa, proteasa) y el contenido de materia orgánica proveniente principalmente de la descomposición de la hojarasca. Este resultado podría explicarse teniendo en cuenta que estas enzimas de naturaleza extracelular participan en la transformación y ciclado de los nutrientes fósforo, carbono y nitrógeno respectivamente, siendo mayor su actividad en aquel suelo que aporta mayor contenido de los mismos (Tabla 1, Figura 1). Por otra parte, el mayor contenido en materia orgánica contribuiría a la estabilización de estas enzimas extracelulares a través de la formación de complejos con las arcillas del suelo (Burns 1982; García *et al.*, 1994).

Tabla 1. Actividad fosfatasa ácida,  $\beta$  glucosidasa, proteasa y dehidrogenasa en los suelos debajo de las especies radal (*Lomatia hirsuta* Diels) y roble europeo (*Quercus robur* L). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre especies.

Actividades Enzimáticas	Radal ( <i>Lomatia hirsuta</i> Diels)	Roble ( <i>Quercus robur</i> L)
Fosfatasa ácida ( $\mu\text{g p-nitrofenol. g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ )	522b	1034a
$\beta$ glucosidasa ( $\mu\text{g p-nitrofenol/g suelo}$ )	421b	590a
Proteasa ( $\mu\text{g tirosina. g}^{-1}\text{.h}^{-1}$ )	411b	610a
Dehidrogenasa ( $\mu\text{g formazán/ g suelo}$ )	118a	115a

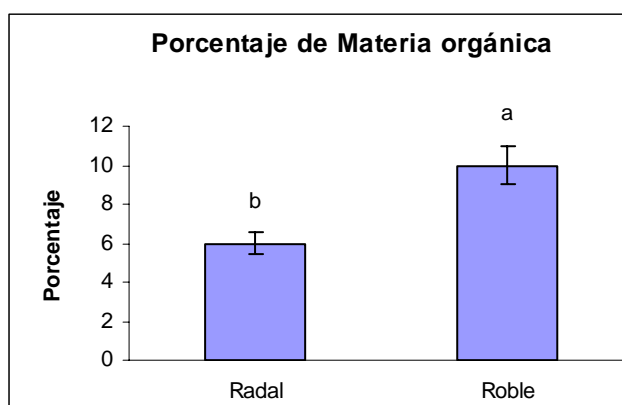


Figura 1. Contenido de materia orgánica para los suelos debajo de las especies arbóreas radal (*Lomatia hirsuta* Diels) y roble europeo (*Quercus robur* L). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre especies.

Los valores obtenidos para el contenido de fósforo y nitrógeno en hojas senescentes y el contenido de materia orgánica en suelo, son significativamente mayores en el caso de las hojas y suelo debajo de la especie roble con respecto a la especie radal (Figura 1, 2, y 3).

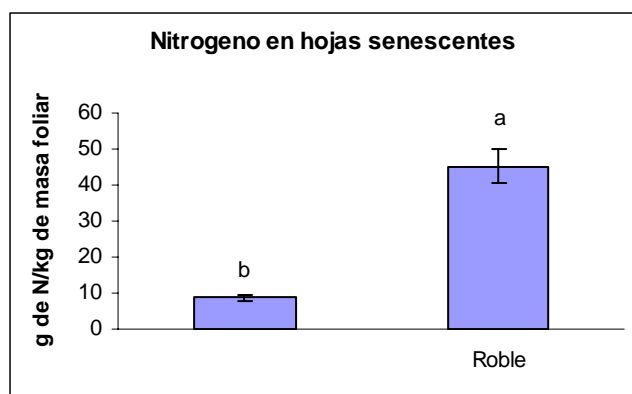


Figura 2. Contenido de nitrógeno en hojas senescentes pertenecientes a las especies arbóreas radal (*Lomatia hirsuta* Diels) y roble europeo (*Quercus robur* L). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre especies.

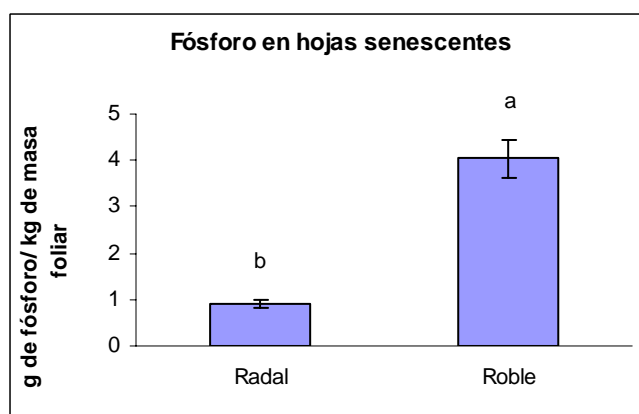


Figura 3. Contenido de fósforo en hojas senescentes pertenecientes a las especies arbóreas radal (*Lomatia hirsuta* Diels) y roble europeo (*Quercus robur* L). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre especies.

El mayor aporte de residuos vegetales ricos en nutrientes como carbono, fósforo y nitrógeno estimularía el desarrollo de un mayor número de microorganismos viables en el caso de roble (Tabla 2 y Figura 1).

Tabla 2 Número de microorganismos viables cultivables para los suelos debajo de las especies arbóreas radal (*Lomatia hirsuta* Diels) y roble europeo (*Quercus robur* L).

	Radal U.F.C/g suelo	Roble U.F.C/ g suelo
Flora bacteriana total	$7.0 \cdot 10^{12}$	$5.5 \cdot 10^{18}$
Amilolíticos	$3.0 \cdot 10^3$	$1.1 \cdot 10^6$
Hongos	$1.7 \cdot 10^4$	$1.5 \cdot 10^4$
Actinomices	$1.3 \cdot 10^6$	$3.6 \cdot 10^3$

U.F.C.: Unidades Formadoras de Colonias

Este aumento en el número de microorganismos originaría un aumento en la actividad microbiana que a su vez produciría un aumento en la producción de las enzimas fosfatasa ácida,  $\beta$ Sin embargo, en nuestro trabajo no se pudo relacionar la actividad del complejo dehidrogenasa con los mayores recuentos microbianos encontrados.

El porcentaje de lignina y celulosa foliar es marcadamente menor en el caso de roble (Figura 4 y 5), lo cual condice con el aumento en número de microorganismos (especialmente bacterias) asociados a este suelo.

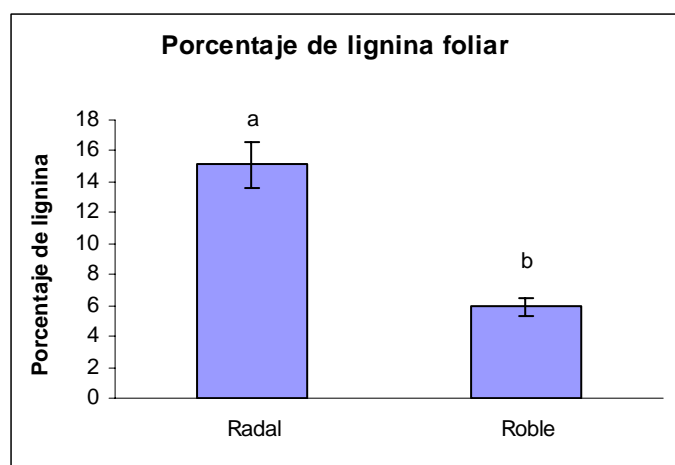


Figura 4. Contenido de lignina en hojas senescentes pertenecientes a las especies radal (*Lomatia hirsuta* Diels) y roble europeo (*Quercus robur* L). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre especies.

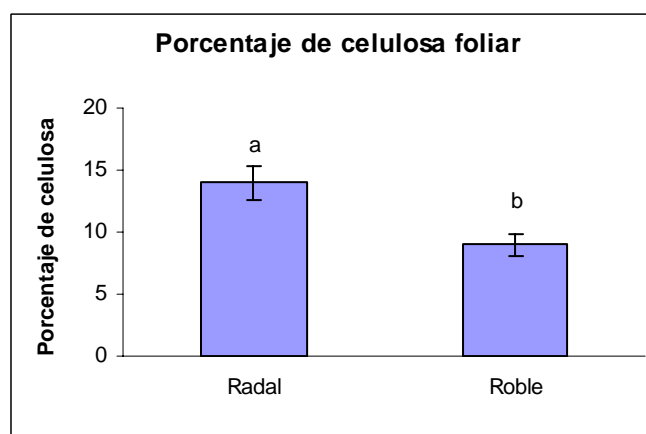


Figura 5. Contenido de celulosa en hojas senescentes pertenecientes a las especies arbóreas radal (*Lomatia hirsuta* Diels) y roble europeo (*Quercus robur* L). Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre especies.

La velocidad de descomposición del material vegetal y consecuente producción de materia orgánica se ve favorecida en el caso de roble, ya que es la especie que posee menor contenido de lignina (siendo este el compuesto aromático más abundante en la naturaleza, y uno de los más recalcitrantes).

La menor proporción de compuestos recalcitrantes que se asocian con una mayor cantidad de fuentes carbonadas de fácil acceso, estimularía el desarrollo de la flora

microbiana en su conjunto y particularmente de las bacterias, quienes competitivamente son las que se desarrollan con mayor rapidez cuando las fuentes carbonadas y nitrogenadas están disponibles. Este aumento en el número de microorganismos, también se relacionaría con un aumento en la actividad microbiana y posterior liberación de enzimas extracelulares.

## CONCLUSIONES

Para el suelo debajo de la especie roble, se encontraron los valores más elevados de la actividad de fosfatasa ácida,  $\beta$  glucosidasa, proteasa, el mayor contenido de materia orgánica y el mayor número de microorganismos viables cultivables de flora bacteriana y amilolíticos. Estos resultados contribuyen a corroborar la influencia que tienen las especies arbóreas sobre las propiedades de los suelos forestales y de este modo, permite planificar un manejo apropiado de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLISON, S.D. and VITOUSEK, P.M. 2005. Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrients inputs. *Soil Biol. Biochem.* 37: 937-944.
- AYRES, E.; DROMPH, K.M. and BARDGETT, R.D. 2006. Do plant species encourage soil biota that specialise in the rapid decomposition of their litter? *Soil Biol. Biochem.* 38: 183-186.
- BASTIDA, F.; MORENO, J.L.; HERNÁNDEZ, T. and GARCÍA, C. 2006. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biol. Biochem.* 38, 3463-3473.
- BASTIDA, F.; KANDELER, E.; MORENO, J.L.; ROS, M.; GARCÍA, C. and HERNÁNDEZ, T. 2008. Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. *Appl. Soil Ecol.* 40: 318-329.
- BERGSTROM, D.W. and MONREAL, C.M. 1998. Increased soil enzyme activities under two row crops. *Soil Sci. Am.J.* 62: 1295-1301.
- BOERNER, R.E.J.; BRINKMAN, J.A. and SMITH, A. 2005. Seasonal variations in enzyme activity and organic carbon in soil of a burned and unburned hardwood forest. *Soil Biol. Biochem.* 37: 1419-1426.
- BUCKLEY, D.H. and SCHMIDT, T.M. 2003 Diversity and dynamics of microbial communities in soils from agro-ecosystems. *Environ. Microbiol.* 5: 441-452.
- BURNS, R.G. 1982. Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial ecology. *Soil Biol. Biochem.* 14: 423-427.
- CLABRIX, R.; BARRAY, S.; CHABRERIE, O.; FOURRIE, L. and LAVAL, K. 2007. Impact of organic amendments on the dynamics of soil microbial biomass and bacterial communities in cultivated land. *Appl. Soil Ecol.* 35 511-522.
- DEFRIERI, R.L.; EFFRON, D.; JIMENEZ, M.P. y PRAUSE, J. 2008. Influencia de especies forestales sobre la actividad de las enzimas fosfatasa ácida y proteasas en un suelo de bosque. *Ci. Suelo* 26: 177-182.
- CERÓN RINCÓN, L. y MELGAREJO MUÑOZ, L.M. 2005. Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad. *Acta biológica colombiana* 10: 5-18.
- COLMET D'ÂAGE, F.; MARCOLIN, A.; LÓPEZ, C.; LANCIOTTI, M.; AYESA, J.; BRAN, D.; ANDENMATTEN, E.; BROQUEN, P.; GIRARDIN, J.; CORTÉS, G.; IRISARRI, J.; BESOAIN, E.; SADZAWKA, A.; SEPÚLVEDA, G.; MASSARO, S.; MILLOT, G. y BOULEAU, P. 1988. Características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la cordillera y precordillera del norte de la Patagonia. Bariloche. Convenio INTA-ORSTOM S. C. de Bariloche, Río Negro. 167 pp.



- DICK, W.A. and TABATABAI, M.A. 1993. Significance and potential uses of soil enzymes. En: Metting, F.B. (Ed.), *Soil Microbial Ecology: Application in Agricultural and Environmental Management*. Marcel Dekker, New York, pp. 95–125.
- DICK, R.P.; BREAKWELL, D.P. and TURCO, R.F. 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. En: Doran, J.W.; A.J Jones.(Eds.). *Methods for assessing soil quality, SSSA Special Publication N° 49, Madison, Wisconsin*, pp. 247-272.
- DILLY, O. and MUNCH, J.C. 1996. Microbial biomass content, basal respiration and enzyme activities during the course of decomposition of leaf litter in a Black Alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth). *Forest. Soil Biol. Biochem.* 28: 1073-1081.
- DILLY, O. and NANNIPIERI, P. 1998. Intracellular y extracellular enzye activity in soil with reference to elemental cycling. *Z.Pflanzenernahr. Bodenk* 161: 243-248.
- FRIONI, L. 1990. Ecología Microbiana del Suelo. Dpto de Publicaciones y Ediciones de la Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.
- GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T. y COSTA, F. 1994. Microbial activity in soils under Mediterranean environmental conditions. *Soil Biol. Biochem.* 26: 1185-1191.
- GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; ROLDÁN, A and MARTÍN, A. 2002. Effect of plant cover decline on chemical microbiological parameters under Mediterranean climate. *Soil Biol. Biochem.*34: 635-642.g
- GONG, P. 1996. Dehidrogenase activity in soil: a comparison between the TTC and INT assay under their optimum conditions. *Soil Biol. Biochem.* 29: 211-214.
- IRISARRI, J. y MENDÍA, J. 1997. Relaciones suelo-paisaje en la evaluación de la potencialidad forestal de la región central andino-patagónica, Argentina. *Bosque* 18(1): 21-30.
- JIMÉNEZ, M.P.; EFFRON, D.; DEFRIERI, R.L.; TORTAROLO, M.F. y DE LA HORRA, A.M. 2004. Vinculación de las actividades de las enzimas  $\beta$ - glucosidasa y proteasa con distintas formas de C y N en un suelo nativo de bosque. En: *Biología del suelo. Transformaciones de la materia orgánica, usos y biodiversidad de los organismos edáficos*. M A Monzón; IE García de Salamone Y SS Miyasaki. 400pp Editorial Facultad de Agronomía. U.B.A.
- JOINVILLE, S.; REVAULT, M.; QUIQUAMPOIX, H. and BARON, M.H. 2004. Structural effects of drying and rehydration for enzymes in soils: kinetics-FTIR analysis of chymotrypsin absorbed on montmorillonite. *Journal of Colloid and Interface Science* 273: 414-425.
- KENNEDY, L. and PAPENDICK, M. 1995. Microbial characteristics of soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation* 50: 243-248.
- LA MANNA, L; V ALONSO; C BUDUBA; M DAVEL; C PUENTES. Y J IRISARRI. 2006. Contenido de materia orgánica del suelo en la Región Andino Patagónica: comparación entre métodos analíticos. *XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Salta y Jujuy, Formato digital.
- NANNIPIERI, P.; GREGO, S. and CECCANTI, B. 1990. Ecological significance of the biological activity in soils. En: Bollag, J.M., Stotzky, G. (Eds.), *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker, New York, pp. 293–355.
- NANNIPIERI, P. 1994. The potential use of soil enzyme as indicators of productivity, sustainability and pollution. En: Pankhurst, CE; BM Doube; VVSR Gupta; RP Grace. (Eds.). *Soil Biota: Management in sustainable farming systems*. CSIRO, Victoria, Australia, pp. 238-244.

- NANNIPIERI, P.; ASCHER, J.; CECCHERINI, M.T.; LANDI, L.; PRIETRAMELLARA, G. and RENELLA, G. 2003. Microbial diversity and soils functions. *European Journal of Soil Science* 54: 655-670.
- NELSON, D.W. and SOMMERS, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp539-579. En A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2*. 2da edn. Agronomy 9. American Society of Agronomy, Madison, USA.
- PRAUSE, J. 1997. Aporte de las principales especies forestales a la dinámica de la materia orgánica y los nutrientes en un monte nativo del Parque Chaqueño Húmedo. Tesis Magister Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. U.B.A.
- ROBERT, M. and CHENU, C. 1992. En: Stotzky, G y JM Ballag, (Eds.). Interaction between soil minerals and microorganisms. *Soil Biochem.* 7, 307-403.
- SPARLING, G.; VOJVODIC-VUKOVIC, M. and SCHIPPER, L.A. 1998. Hot-water soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 30: 1469-1472.
- TRASAR-CEPEDA, C.; LEIROS, C.; GIL-SOTRES, F. AND SEOANE, S. 1998. Towards a biochemical quality index for soils: an expression relating several biological and biochemical properties. *Biol. Fertil. Soils* 26: 100-106.
- VAN SOEST, P.J. and GOERING, H.K. 1970 Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and some Applications). Agr. Handbook N°379. Agric. Res. Serv., USDA, Washington, DC, 200 pp .
- VAN WESEMAEL, L. 1993. Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some mediterranean forest in southern Tuscany. *For. Ecol. Manage.* 57: 99-114.
- WARKENTIN, B. and MAEDA, T. 1980. Physical and mechanical characteristics of Andisols. En: Theng, B.K. (Ed.). *Soil with variable charge*. New Zealand Society of Soil Science: 281-301.

# EL PARAGUAY ANTE LOS DESAFÍOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO: EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS

*The Climate Change in Paraguay: a evaluation of actual situation and perspectives*

**María Fátima Mereles Haydar<sup>1</sup>, Sonia Delphin<sup>1</sup> y Carlos Romero<sup>1</sup>**

Organización Mundial de Conservación, WWF Paraguay. Dirección/Adress: Calle Ezequiel González Alsina, (Road) N° 259, Asunción.  
fmereles@wwf.org.py

## RESUMEN

El Paraguay, pequeño país de unos 406.500 km<sup>2</sup>, se encuentra ubicado en el centro de América del Sur; no sufre básicamente problemas de emisiones a causa de industrias que colaboran sustancialmente con el cambio climático global; su principal actividad es la agrícola-ganadera, mecanizada en gran parte de ambas regiones naturales: Oriental y Occidental o Chaco. Como consecuencia de las mencionadas actividades, el país obtuvo a fines de la década de 1980 y principios de 1990 la tasa de deforestación más alta del mundo, llegando a unas 500.000 has/año. Las razones fueron varias, mencionándose entre las más importantes: la vigencia del Estatuto Agrario que considera a los sistemas boscosos como improductivos; la corrupción e impunidad vigentes, lo cual incentivó el incumplimiento de las leyes, entre ellas la Forestal 422/73; el cambio de uso de suelo forestal a ganadero en una región en donde se concentra el 94-95% de la población del país, con grandes problemas de desigualdad en la tenencia de las tierras; entre las razones más importantes. Como consecuencia de ello se deforestaron en la región Oriental unas 7 millones de has en 40 años, diezmando prácticamente los bosques de naturaleza sub-tropical, los más ricos en biodiversidad del país, llegando a un estado de simples fragmentos completamente inconexos entre sí, afectando a una gran parte de los humedales existentes bajo esa cobertura forestal y poniendo en peligro la recarga de las napas freáticas altas y acuíferos, incluido el Guaraní, con serios riesgos para el futuro del agua en esta región del país. En este trabajo se analizan las consecuencias del estado de conservación de estos bosques y sus efectos sobre el clima de la región, de cara a los cambios que ya se observan como consecuencia del aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico y sus efectos.

**Palabras clave:** Paraguay, cambio climático, deforestación, paisajes, bosque.

## SUMMARY

Paraguay, a small country of about 406,500 km<sup>2</sup> located in the middle of South America, doesn't have emission problems as consequence of industries to collaborate with global climate change. Its main activity is agriculture-cattle, mechanized in a large part of both natural regions: Eastern and Occidental or Chaco. As a result of those activities, the country suffered in the late 80s and early 90s, the highest deforestation rate in the world, reaching 500,000 ha/year. The reasons were many, listing among the more important: the coming into force of the Agrarian Statute, that considers at forest systems as unproductive; corruption and impunity, which encouraged the breaking of laws, including the Forestal 422/73; the change of forestal land use to cattle use in a region where it is concentrated 94-95% of the population of the country with big problems of inequality in land ownership. Therefore, in the Eastern Region around 7

million hectares, in 40 years, were deforested destroying the sub-tropical forests, the richest in biodiversity in the country, reaching a state of simple fragments completely unconnected to each other. The latter affected a large portion of wetlands, that existed under forest cover, and endangered ground water recharge and aquifers, including the Guarani, providing serious risks for the future of water in this region of the country. This paper analyzes the consequences of the conservation status of these forests and their effects on the climate of the region towards the changes already observed as a consequence of increased atmospheric CO<sub>2</sub> and its effects.

**Key words:** Paraguay, climate change, deforestation, landscapes, forest.

## **INTRODUCCIÓN**

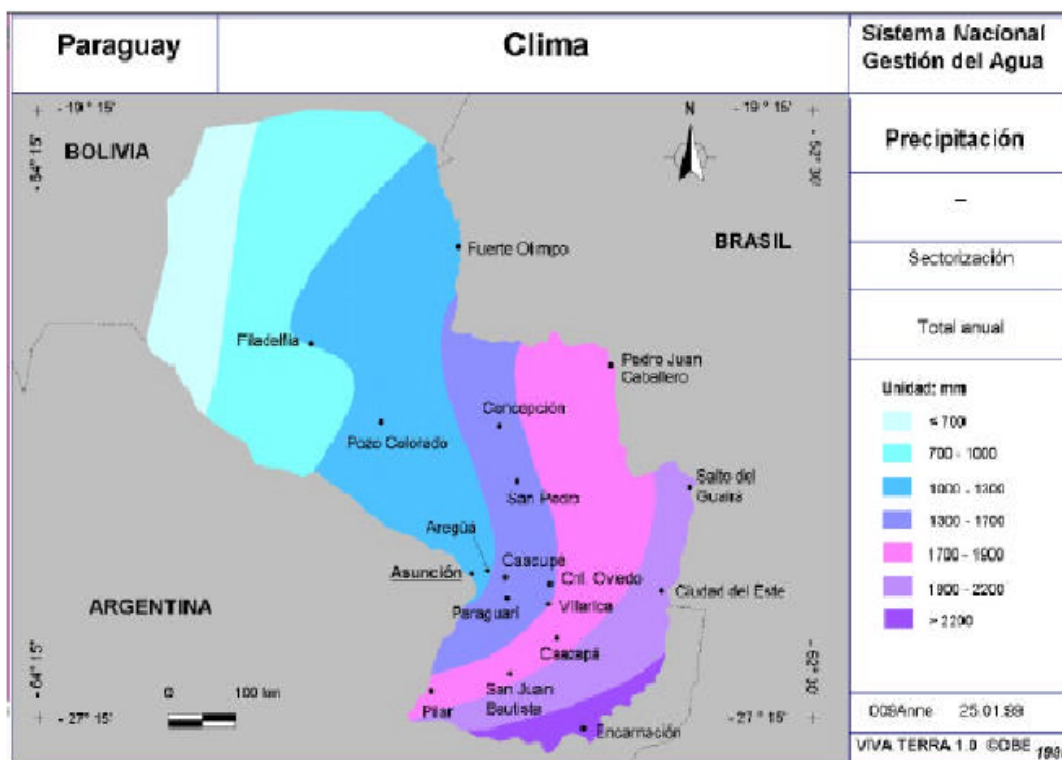
El Paraguay, país mediterráneo, se encuentra ubicado en el centro de América del Sur; tiene una superficie aproximada de 406.500 km<sup>2</sup> y dos regiones naturales bien diferenciadas: la Occidental o Chaco y la Oriental. El clima es sub-tropical en su mayor parte, con una franja tropical, con heladas en invierno y temperaturas bajo cero en algunas áreas, siendo la temperatura promedio de unos 23°C; sus isoyetas van desde 1800-2000 mm de precipitación en años más húmedos hasta 400-500 mm de precipitación en el extremo noroeste de la región chaqueña. Toda la superficie del país se encuentra dentro de la cuenca del Río de la Plata. La región Oriental cuenta con una red hídrica muy rica, tributaria de los dos grandes ríos que la limitan: el Paraguay y el Paraná. Esta última región ha sufrido una intensa deforestación en los últimos 40 años, reduciéndose la cobertura boscosa en forma paulatina y llegándose a la suma aproximada de unas 7 millones de has de pérdida boscosa a nuestros días. Debido a esta intensa deforestación, el Paraguay ha justificado (Facetti *et al.*, 2004) y obtenido, en los últimos años, la Ley 3663/08 en su última extensión de moratoria al cambio de uso del suelo forestal a otras actividades consideradas más productivas únicamente en la región Oriental del país (conocida como Ley de Deforestación Cero). Con la vigencia de esta ley se ha logrado reducir drásticamente durante los primeros años la tasa de deforestación. En su aplicación, esta Ley obtuvo un 85% de eficiencia, lo que ha impulsado nuevamente a las autoridades a insistir en la recuperación de al menos parte de la cobertura perdida, esta vez en forma de corredores biológicos, intentado combinar la producción local con la conservación de las áreas boscosas perdidas.

Este trabajo tiene por objetivos: dar a conocer la situación actual de los bosques en ambas regiones naturales del país, con énfasis en la región Oriental, las consecuencias que la deforestación ha producido en esta última, sus efectos sobre las nacientes de agua y los humedales aledaños; los cambios de matrices producidos en el paisaje; las perspectivas futuras a corto, mediano y largo plazo; las expectativas que se tienen en vistas al fenómeno del cambio climático global; y el rol de las nuevas estrategias de conservación que se están intentando aplicar, de cara a la recomposición del paisaje perdido, en vista a la acumulación de los gases de efecto invernadero en la atmósfera y que nos afecta a todos.

### **Área de estudio**

Se describen someramente ambas regiones naturales del país (Figura 1).

Figura 1. Precipitación Media Anual en mm. Fuente: Tierra Viva



**a-Región Occidental o Chaco:** en esta se han guardado algunas áreas prístinas especialmente al norte de la región; desde el centro hacia los extremos norte, noreste, este, noroeste y oeste por encima del paralelo 22° S, se tiene la gran Reserva de Biosfera del territorio (7 millones cuatrocientas mil ha). El centro y sus expansiones inmediatas se encuentran muy afectados por el cambio de uso del suelo de las colonias Mennonitas, habitantes mayoritarios y con mayor poder económico. Además, en los últimos años, la penetración de nuevos propietarios, especialmente brasileros hacia el centro este, norte y noreste, impacta con el cambio de uso del suelo forestal y agroganadero.

Por la aparición, desde la década de 1920 en adelante, de los primeros contingentes Mennonitas, se inicia, en un lento proceso, el cambio de uso de suelo forestal cada día con una mayor demanda dado el aumento poblacional. Las colonias Mennonitas son tres, (Ferheim, Neuland y Loma Plata) y constituyen una importante fuente de ingresos fiscales al país, siendo una de las cuencas lecheras más importantes, con productos de exportación de alta competitividad. Estos grupos, hasta la década del 2000, fueron los que han generado el mayor impacto ecológico negativo.

En los últimos años, grupos de inversionistas, y en casos muy raros inmigrantes de países vecinos especialmente Brasil, han comprado tierras para aumentar las fronteras agropecuarias.

**b. Región Oriental:** esta ha perdido unas 7 millones de ha. de bosques en 40 años o más, más particularmente en las áreas boscosas del norte, centro este y sureste de la región. En un principio, el cambio fundamental fue debido a la ganadería, prácticamente la responsable de la gran deforestación en la región, hasta que en los últimos años de 1960 y la década de 1970 se inician las campañas de plantaciones de soja y los

componentes del sistema: girasol-maíz-canola-soja/sorgo-nabo forrajero-soja u otros productos intermedios. Si bien el Paraguay fue uno de los primeros países en adherirse a prácticas más amigables, especialmente en la conservación de los suelos con el sistema de la denominada siembra directa, no es menos cierto que en los primeros tiempos el crecimiento de la soja se ha hecho a costa de los bosques y sobre los mejores suelos forestales.

Actualmente restan en esta región unas 2 millones de ha., constituidas por tierras públicas con alguna figura de protección (Parques Nacionales o Reservas Privadas, incluida la de los pueblos originarios, o futuras áreas para conservación aún no definidas en manos de propietarios privados, como el caso de la Reserva para Parque Nacional San Rafael y la Reserva de Biosfera del Bosque Mbaracayú). La cobertura forestal de aproximadamente 2 millones de has se encuentra absolutamente fragmentada. Estos fragmentos están muy aislados, casi sin continuidad entre los mismos, y en muchos se encuentran también muy degradados, casi con pérdida de especies semilleras importantes, invadidos por especies secundarias como las lianas heliófilas que, generalmente, dificultan la regeneración de las especies típicas de los sitios.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La cuantificación de la deforestación en las 2 regiones fue realizada por medio del análisis multitemporal de las imágenes satelitales. Para la región Occidental o Chaco fueron utilizadas las imágenes MODIS de resolución espacial de 250metros y correspondientes a los años 2003 y 2009; para la región Oriental fueron empleadas las imágenes LANDSAT y CBERS con resoluciones espaciales de 30 y 20metros respectivamente y correspondientes al periodo 2005-2009.

Los trabajos de campo y observaciones *in situ* fueron realizados en la región Oriental, únicamente en las áreas piloto: cuencas de los ríos Pirapó, (departamento de Itapúa) y Ñacunday, (departamentos de Alto Paraná, parte de Caazapá y parte de Itapúa).

## **RESULTADOS**

### **Región Occidental**

En el año 1990, según análisis realizados mediante la clasificación de imágenes Landsat, el Chaco contaba con 15.450.687 hectáreas de bosque, pasando a una superficie de 14.455.110 para el año 2000. Se cuantifica, por lo tanto, una deforestación total de 1.055.577 hectáreas a una tasa promedio de 105.557 hectáreas por año en un periodo de 10 años (1990 a 2000). En los últimos estudios y mediante la utilización de imágenes del sensor MODIS, en el periodo de un año entre mayo de 2005 y mayo de 2006, la tasa anual promedio de deforestación aumento a 130.000 hectáreas. En la actualidad la tasa de deforestación aumentó, nuevamente, detectándose un promedio de 477 hectáreas por día entre agosto y septiembre de 2008, lo que equivaldría a una tasa anual de unas 174.292 hectáreas (Mereles & Rodas, 2009).

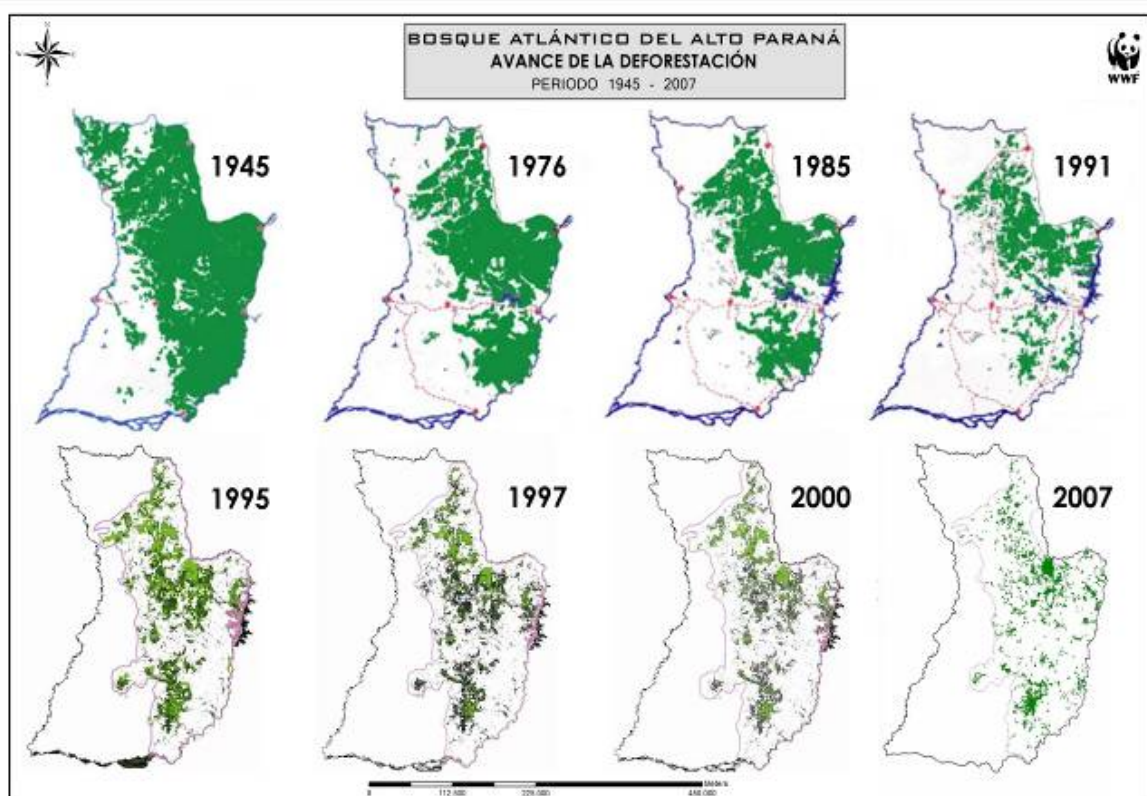
Actualmente, a octubre de 2009, la tasa de deforestación del territorio chaqueño es de unas 656 has/día y en todo el año 2009 a la fecha se deforestaron en total unas 248.175 has, superando al año 2008 que alcanzó un total de 228.000 has (Yanosky, 2009).

Las principales consecuencias de todos los cambios mencionados, son las siguientes (Figura 2):

**a) Cambio de matriz:** en el área de las colonias Mennonitas, en el centro del territorio, los fragmentos boscosos restantes son tan pequeños que lo observado es solamente una

matriz antropogénica con grandes áreas de cultivos mecanizados en donde se destacan los centros urbanos y poblaciones rurales aledañas denominadas “aldeas”. En algunos casos se observa una transición entre la matriz boscosa, esta cada vez más alejada de las áreas rurales, hacia una matriz agropecuaria con inserciones de remanentes boscosos aislados; la ocupación de las colonias Mennonitas abarcan aproximadamente una superficie superior al millón de has (Mereles & Rodas, 2009).

Figura 2. Avance de la deforestación 1945-2007.



**b) El efecto isla:** en muchas de las áreas aledañas a pequeños centros urbanos en donde se mantiene aún la cobertura prístina o con pocos cambios, especialmente en las cercanías de los Parques Nacionales (Médanos del Chaco, Teniente Agripino Enciso, Defensores del Chaco, Río Negro y Guaraní Timane, entre otras áreas de y para reserva como el denominado Monumento Natural Cerro Chovoreka), se observa una concentración en mayor o menor escala de la fauna, especialmente la mastofauna (reptiles grandes y aves), lo que las hace muy susceptibles a la caza furtiva. Esta reducción de hábitat tiene consecuencias diferentes dependiendo de los grupos de animales, pero en general reducen su ciclo reproductivo, tienen alcance restringido para la alimentación, hay mayor competencia tanto en las épocas de celo como por las presas, etc.

**c) El efecto borde:** otra de las consecuencias observadas al interior de los fragmentos boscosos es un efecto borde creciente, en donde las especies pioneras, propias de los suelos modificados, avanzan rápidamente (Mereles, 1998). Dependiendo de los tipos de suelos, diversas son las especies pioneras que ganan rápidamente los fragmentos aumentando el efecto antes mencionado en los mismos; estas especies son autóctonas de la región, colonizadoras de suelos modificados (Mereles, 1998)(Figura 3).



Figura 3. Habilitación de Tierras en el Chaco. Foto: Richard Lavieille

**d) Especies en peligro:** como consecuencia de la deforestación y la degradación de los bosques, algunas especies de la planicie chaqueña se encuentran con varios tipos de status de conservación; se mencionan entre estas a: *Bulnesia sarmientoi*, “palo santo”, una de las maderas más duras del mundo; otras especies de distribución restringida en la planicie (para el área del bosque seco del Alto Chaco o bosque Chiquitano en Paraguay) son: *Simira sampaioana*, *Zeyheria tuberculosa*, *Acosmium cardenasii*, *Maytenus ilicifolia* y especies de *Gymnocalycium*, entre otras. Para la fauna, se encuentran amenazadas por pérdida de hábitat y obviamente cacería ilegal, las siguientes especies: *Chrysocyon brachyurus*, *Priodontes Maximus*, *Leopardus pardales*, *Oncifelis geoffroyi*, *Panthera onca*, *Catagonus wagnerii*, *Boa constrictor occidentalis*, *Dracaena paraguayensis*, entre otras (SEAM, 2006).

**e) Invasión de especies exóticas:** dada la apertura de caminos más frecuentes en el territorio chaqueño, se ha iniciado la invasión de especies exóticas leñosas, las que ingresaron al territorio probablemente por propagación natural (vientos) y han tenido éxito posiblemente debido a que los suelos les son favorables tanto como el clima. Así, se ha notado la presencia, en muchas áreas ya masivamente de *Calotropis procera*, especie africana que ingresó a la planicie chaqueña boreal en la primera mitad de la década de 1990 (Mereles & Degen, 1994).

**f) Los efectos de los incendios forestales:** el fuego es una práctica común y antigua en el Paraguay; los incendios espontáneos no existen en el país pues no se tienen las condiciones climáticas para ello. Es importante recalcar también que los incendios en Paraguay tampoco se transmiten (salvo casos muy excepcionales), si las formaciones boscosas permaneces intactas, sencillamente, el fuego no penetra.

Los fuegos provocados suceden en ambas regiones naturales en forma casi permanente, con énfasis al término de la estación seca, (meses de invierno: julio y agosto) y



esperando las lluvias, se aprovecha para quemar los campos de manera que las hierbas palatables por el ganado salgan con las primeras lluvias de la estación estival. En condiciones no controladas, los mismos se expanden con facilidad.

En los últimos años y con la Ley 3663/08 “De Prohibición en la Región Oriental de las Actividades de Transformación y Conversión de Superficies con Cobertura de Bosques” conocida como “Ley de Deforestación Cero” vigente hasta el año 2013, muchos productores han aprovechado la expansión de los incendios forestales para hacer el “cambio de uso del suelo” no permitido, con el pretexto de que sus bosques han sido diezmados por el fuego.

Los remanentes boscosos sometidos al fuego quedan muy debilitados, aún cuando están en proceso de regeneración; es este estado son susceptibles a los efectos de las tormentas, el ingreso de especies pioneras de suelos modificados y también de leñosas invasoras.

### **La región Oriental**

Las mismas consecuencias de la deforestación se sufren en la región Oriental, con algunas diferencias que se mencionan a continuación:

El cambio de matriz de base es prácticamente absoluto, afectando especialmente a los bosques húmedos y semi-húmedos, de estos últimos nada más que los remanentes altamente fragmentados ya mencionados y los bosques sobre las mesetas de las serranías que se destacan en el centro de la región Oriental, observados especialmente en los departamentos de Paraguari, Guairá y Amambay.

Los remanentes boscosos muy degradados ya recibieron el impacto de las especies colonizadoras propias de la región Oriental, tales como: *Cecropia pachystachya*, *Acrocomia aculeata*, *Tabernamontana catharinensis*, *Sebastiania brasiliensis*, *Casearia sylvestris*, *Albizia hasslerii*, *Trichilia catigua*, *Sorocea bonplandii*, *Pilocarpus pennatifolius*, *Schinus terebenthifolius*, *Solanum granuloso-leprosum*, *Xylosma venosum*, *Apuleia leiocarpa*, *Trema micrantha*, *Guazuma ulmifolia*, entre otras. También los cerrados del noreste y centro se ven bastante afectados, observándose la colonización de los ambientes alterados por especies pioneras propias de los mismos, tales como: *Butia paraguayensis*, *Psidium* spp., *Allagoptera* sp., entre otras que se observan en forma muy común.

Muchos de los remanentes boscosos se encuentran en tal estado de degradación que el efecto de borde en estos casos ha superado ya a las formaciones prístinas. Al mismo tiempo, el grado de deterioro ha hecho a estos remanentes no solo más vulnerables al ataque de colonizadoras o eventualmente especies exóticas, sino también a los efectos de las tormentas, con caída de árboles, apertura de la vegetación, entre otras consecuencias.

La pérdida de las especies ha sido una constante en esta región, a tal punto que un buen número de leñosas se encuentran en la lista de especies amenazadas, así como algunos representantes de la fauna. Se mencionan, entre otras especies vegetales a: *Myrocarpus frondosus*, *Cedrela fissilis*, *Astronium balansae*, *Aspidosperma polyneuron*, *Euterpe edulis*, *Tabebuia heptaphylla*, (especialmente en los bosques), *Cordia trichotoma*, *Balfourodendron riedelianum*, *Alsophila cuspidata*, *Cyathea atrovirens*, *Stevia rebaudiana*, *Oncidium jonesianum*, *O. cebolleta* y *Zygopetalum maxillare*. Para la fauna, algunas especies son comunes con la región chaqueña como el caso de la emblemática *Panthera onca*, *Chrysocyon brachyurus*, *Boa constrictor occidentalis*, *Priodontes Maximus*, (prácticamente ya desaparecido en esta región), *Speothos venaticus*, propio de la Oriental, así como *Harpya harpyja*, *Pipile jacutinga* y *Procnias nudicollis*, entre otras.

En cuanto a la invasión de especies exóticas, como el ambiente está bastante deteriorado, muchas de ellas se transformaron en verdaderas invasoras como: *Melia azedarach*, *Citrus aurantium*, *Hovenia dulcis*, *Jatropha curcas* y *Bixa orellana*, especies ya completamente aclimatadas en el medio, que penetran apenas el ecosistema se encuentra disturbado y los suelos les son apropiados.

La deforestación ha afectado profundamente (Figura 4) también a la propagación de las enfermedades transmitidas por vectores; si bien este ámbito es muy específico y altamente especializado, se mencionan algunos hechos sucedidos recientemente (año 2008), cuando se tuvieron epidemias crecientes de “dengue”, transmitido por el vector *Aedes aegypti*; así como otras enfermedades vectoriales urbanizadas como la “fiebre amarilla”, aparentemente ya desaparecida pero de la que se han dado casos urbanos cuando históricamente sólo se conocen casos silvestres. Este fenómeno no se observó en la región Occidental.

Finalmente, la intensa deforestación ha afectado también a los humedales, muy particularmente a los cursos de bajo caudal, los que arrastran permanentemente mucho sedimento. Los efectos se observan también sobre las nacientes de agua, muchas de las cuales se encuentran colmatadas y desaparecidas. En términos cuantitativos no conocemos exactamente cuanto caudal se está perdiendo, como tampoco se conocen las pérdidas de agua que debería alimentar a las zonas freáticas y acuíferos.

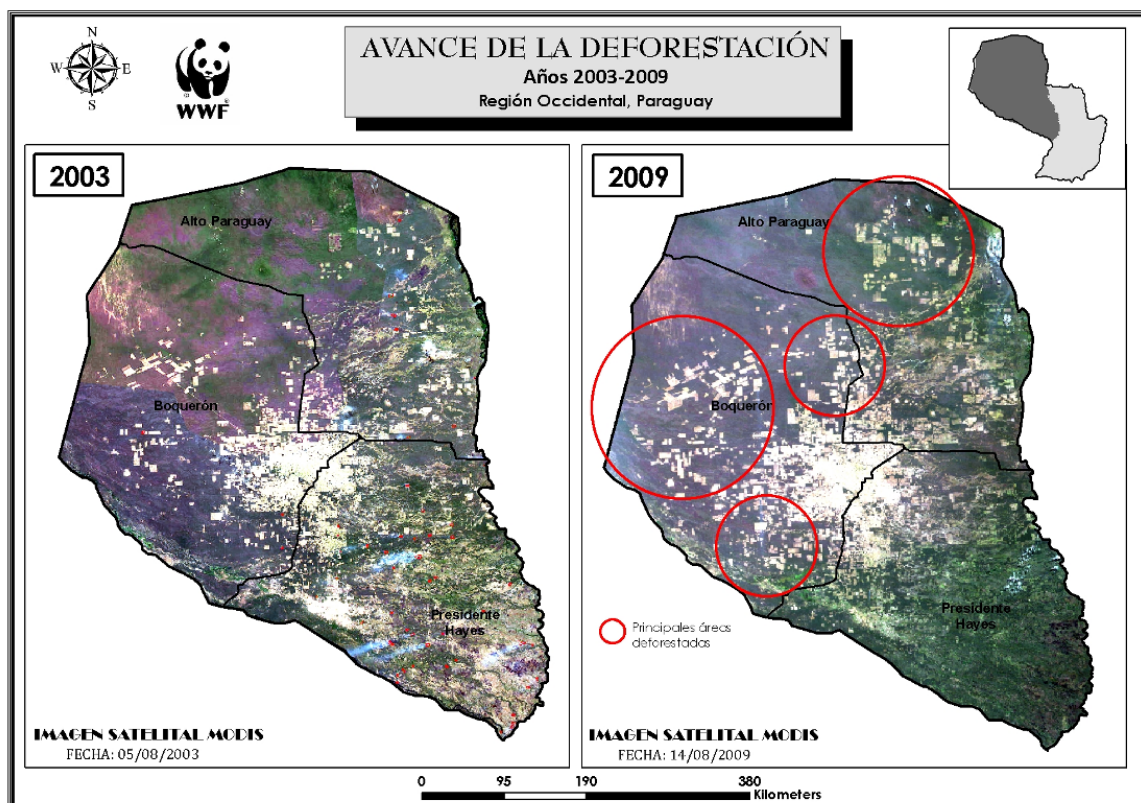


Figure 4. Avance de la deforestación en el Chaco

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Visto los problemas presentados, ¿cuáles son las perspectivas para nuestros bosques? En la región Oriental, ¿cuál es la capacidad de la homeostasis y resiliencia que presentan los remanentes? Acá se plantea otro problema, los resultados esperados de las investigaciones científicas están muy por debajo de lo deseable, debido a la carencia de

trabajos por parte de la academia. ¿Cuál es la capacidad de reacción para con nuestros bosques nativos en la región Oriental? Hemos llegado al 20% de la masa boscosa existente hace 40 años. En estos momentos, gran parte de los ambientes están transformados en sabanas, en muchos casos estas se encuentran sin ningún poder de regeneración y la matriz boscosa está cambiando rápidamente a barbechos-sabanas-herbazales, en sitios en donde se carece de cultivos mecanizados.

La intensa deforestación a la que fue sometida la región Oriental, con todas las consecuencias ya mencionadas más arriba; conducen a pensar que el futuro de este territorio será similar al de la región Oriental, con el agravante que, por las razones expuestas, las consecuencias serán peores por efecto del clima regional y considerando los modelos para el país, en donde las mayores reducciones de la precipitación (6%) se producirán sobre la cuenca del río Paraguay (Bidegain *et al.*, 2008) iniciándose en la región chaqueña.

En cuanto a los efectos sobre las nacientes de agua, éstos serán perceptibles a más largo plazo cuando las áreas, ahora mecanizadas, se vayan urbanizando. Aunque no se cuenten con datos cuantitativos, muy probablemente la fauna ictica también haya sido afectada por el intenso transporte sedimentario en varios cursos de agua, como ha sucedido con el río Pirapó, (departamento de Itapúa). Actualmente en este río, luego de 5 años del inicio de la recomposición paisajística a lo largo del mismo, sus aguas han comenzado a aclararse y la pesca, a recuperarse.

Si bien el Paraguay no es un país de emisiones de gases de efecto invernadero debido a la industria, no debemos desconocer que sí colabora con las emisiones debido a la deforestación y degradación de los remanentes forestales (caso típico de la región Oriental) y con ello colabora en la general entre un 12% y un 30% del total de las emisiones. Es una obligación del país tener que cuantificar las emisiones y del cual debemos hacernos responsables.

Pero, de aumentarse la temperatura promedio en 3-4 °C ¿cómo afectarán a los bosques ya de por sí muy degradados? Según Nobre & De Simone Borma (2009) indican, si la cobertura boscosa es menor al 40% de su masa original y la temperatura media aumenta en al menos 3°C, los bosques igualmente inician el proceso de autodestrucción, con las mismas consecuencias que la deforestación o las quemadas u otros tipos de destrucción, como la sabanización, la pérdida de la regeneración y la sustitución de especies por otras. Las perspectivas futuras para el país indican un aumento de unos 2,5°C al año 2050 en la cuenca del río Paraguay y un poco menos para la del Paraná, (Bidegain *et al.*, 2008) en donde se desarrollan estos bosques; de todas maneras, el aumento para esta última cuenca mencionada es considerable.

Por otro lado, las consecuencias de la deforestación traerán riesgos enormes, no solo para los bosques sino también para la población; especialmente en la cuenca del río Paraná, visto los escenarios futuros para el país y el incremento de las precipitaciones en un + 5% (Bidegain *et al.*, 2008). En efecto, el país tiene aproximadamente un 20% de su población bajo la línea de pobreza; esta franja de ciudadanos (la población de alto riesgo) se constituirán en la primera línea de las consecuencias producidas por: las inundaciones debido a grandes lluvias, ya que los asentamientos se encuentran en gran parte en las riberas de los cursos de agua; serán fuertemente impactados por los embates de los vientos y las descargas de granizos, etc. Por otro lado, la misma fuerza de los vientos impactará más sobre las áreas urbanas en general, debido a la ausencia de la “cortina” forestal de las áreas rurales y por ende esta población estará más expuesta, considerando los escenarios futuros.

La aplicación de las nuevas herramientas de conservación: la Ley de Valoración y Pagos por Servicios Ambientales, iniciados a partir de los Derechos y Obligaciones

Canjeables y Renovables e implementadas en el denominado Programa de Adecuación Legal, es una iniciativa de la Organización Mundial de Conservación, WWF Paraguay, conjuntamente con el Instituto Forestal Nacional (INFONA), la Secretaría del Ambiente (SEAM) y las Municipalidades locales en dos sub-cuencas piloto: Pirapó y Ñacunday, cuenca del río Paraná. Se pretende con ellas detener la deforestación de los últimos remanentes, complementando a la Ley de Deforestación Cero vigente para la región Oriental hasta el año 2013, e iniciar el proceso de recomposición paisajística como una manera rápida de mitigar las consecuencias de los cambios climáticos en la región.

### **AGRADECIMIENTOS**

Al Prof. Lic. Genaro Coronel, Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción, UNA y a la Ing. Forestal. Andrea Garay, voluntaria de WWF Paraguay, por su inestimable ayuda.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; RÍOS N. y DE LOS SANTOS, B. 2008. Escenarios Climáticos Futuros para el Paraguay. XIII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología (Climet XIII) y X Congreso Argentino de Meteorología (Congremet X), Buenos Aires, Argentina.
- FACETTI, J.F.; BOZZANO, B.; DIETZE, R.; FACETTIM. y RODAS, C. 2003. Moratoria a los bosques de la región Oriental del Paraguay. Organización Mundial de Conservación, WWF Paraguay. Asunción. Informe Técnico.
- MERELES, F. 1998. Leñosas colonizadoras e indicadoras de sitios modificados en el Chaco boreal, Paraguay. *Rojasiana* 4(1): 23-45
- MERELES, F. y RODAS, O. 2009. El proceso de fragmentación y reducción de hábitat en el Chaco paraguayo y sus efectos sobre la biodiversidad. EN: Morello, J. & A. Rodríguez (eds.): El Chaco sin Bosques: la Pampa o el Desierto del Futuro. GEPAMA, Universidad de Buenos Aires y UNESCO. Editorial Orientación Gráfica, Buenos Aires, *en prensa*.
- MERELES, F. y DEGEN, R. 1994. Contribución al estudio de la flora y vegetación del Chaco boreal paraguayo 2. *Calotropis procera* (Ait.) Ait. F., nueva cita para el Paraguay. *Rojasiana* 2 (1): 36-39.
- NOBRE, C.A. y DE SIMONE BORMA, L. 2009. Tipping points for de Amazon Forest. *Elsevier*
- SECRETARÍA DEL AMBIENTE, SEAM. 2006. Resolución N° 2531 “Por la cual se actualiza el listado de las especies protegidas de la vida silvestre en peligro de extinción”.
- YANOSKY, A. 2009. Informe mensual del departamento de GIS/Monitoreo de la deforestación en el Paraguay: Actualización desde el 26/09 al 31/09. Asociación Guyra Paraguay, Conservación de Aves.

# MODELACIÓN ECOLÓGICA Y ECONÓMICA DE LA EXTRACCIÓN PESQUERA DE CONSUMO EN LOS LAGOS AMAZÓNICOS CENTRALES: ADAPTACIÓN INDÍGENA LOCAL

*Ecological and economic modeling of fishing extraction of consumption in central amazonian lakes: adaptation indigenous local*

**Camilo Torres-Sanabria**

Laboratorio de Limnología. Facultad de Ciencias Económico-Administrativas.  
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia.  
camilo.torres@utadeo.edu.co

## RESUMEN

Los lagos de inundación de la cuenca media del río Amazonas en las inmediaciones de la ciudad de Leticia, Colombia, son conocidos como los lagos de Yahuaraca. Estos humedales generan beneficios económicos a las comunidades indígenas que se ubican en las proximidades de los mismos. Dichas comunidades practican diversas técnicas de extracción pesquera de varias especies, tanto para su consumo como para el intercambio de bienes y servicios en el puerto de Leticia. Las artes de pesca de arrastre generan el mayor nivel de beneficios económicos que las artes de gramaloteo, ya que esta última técnica permite capturar peces de tallas pequeñas las cuales son comercializadas a un menor precio. Además, los beneficios generados por la técnica del gramaloteo están restringidos por los altos costos en las jornadas de extracción. Las pesquerías analizadas en el presente trabajo son las de las siguientes especies: *Hypophthalmus edentatus*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Prochilodus nigricans* y *Mylossoma aureum*, las cuales se comercializan ampliamente y su extracción modifica la estructura trófica del ecosistema acuático, cambiando la composición de la biomasa, la producción y la respiración de los componentes tróficos. Por medio de la Matriz de Leontief se identificaron los impactos generados en los componentes tróficos del sistema al considerar un aumento porcentual en las unidades de extracción de las artes de pesca, la cual es determinada por el costo marginal de extracción de cada arte.

**Palabras clave:** Niveles tróficos, Lagos de Yahuaraca, Biomasa, Ecopath, Matriz Leontief, Función de Beneficios.

## SUMMARY

The flood lakes in the half basin of the Amazon River named Yahuaraca lakes for the Leticia citizens – Colombia, generate economic profits to the indigenous communities that are located near to this water complex. These human communities develop some fishing techniques for extract a diverse fish species, for self-consumption and for the exchange of some goods and services in the Leticia port. Drag techniques generate a higher level of economic benefits than the Gramaloteo arts; because the last one catches small size of fishes which are sold at lower price, further this benefits generated by the Gramaloteo technique are restricted by the high costs in the extraction season. The fish species studied in this paper (*Hypophthalmus edentatus*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Prochilodus nigricans* y *Mylossoma aureum*) are relevant for the local market and consumption. When these species are caught, the trophic structure is modified for the aquatic ecosystem, and changes the biomass composition, the production and the

respiration of each trophic component. The Leontief matrix was identified impacts generated in the trophic components of the system, to consider a percentage increase in the extraction units for each fishing art. The marginal cost its relevant when the economic agent choose the catching art.

**Keyword:** Trophic levels, Yahuaraca Lakes, Biomass, Ecopath, Leontief Matrix, Profits Function.

## INTRODUCCIÓN

Los niveles de organización de los lagos de inundación tropical amazónicos son dinámicos y complejos de estructurar en los diferentes componentes ecológicos que constituyen estos ecosistemas (Junk, 1997), donde el concepto de ecosistema en este caso, considera aspectos referentes a la población, la comunidad, el flujo de componentes, la transformación de la energía, la dinámica de los ciclos, la depredación, el consumo, la respiración, la eficiencia, entre otros parámetros (Cherret, 1989).

Los niveles tróficos en este tipo de ecosistemas se caracterizan por presentar distintos componentes jerárquicos, donde los peces consumidores se posicionan en los más altos niveles de la cadena trófica a lo largo de los cuerpos de agua que componen el complejo amazónico (Batista et al, 1998). Este componente trófico representado en las poblaciones de peces tiene relevancia en el aporte de proteínas a la dieta de las poblaciones humanas y genera participación en las economías locales que dependen de la dinámica hidrológica de los lagos inundables, como es el caso de Yahuaraca (Lagos ubicados en las cercanías de la ciudad de Leticia, capital del departamento colombiano del Amazonas).

En el presente documento se aproxima a la composición trófica, mediante diversas implicaciones económicas y ecológicas, de cuatro especies de peces que tienen un mercado local definido en el puerto de Leticia (*Hypophthalmus edentatus*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Prochilodus nigricans* y *Mylossoma aureum*), mediante la modelación de los flujos tróficos con el software Ecopath, considerando los impactos en la biomasa resultado de las interacciones tróficas, por medio de la matriz de impacto de Leontief en dos escenarios hipotéticos de extracción del recurso pesquero (Gramaloteo<sup>5</sup> y Arrastre) y un escenario donde no se registra la actividad pesquera. De igual forma se proponen herramientas económicas mediante la formulación de la función de beneficios y la maximización de la misma, considerando la actividad pesquera local a pequeña escala de las especies de peces analizadas.

## MODELOS PROPUESTOS

La estructura trófica propuesta se desarrolla bajo los componentes propios de este tipo de ecosistemas, y se expresa por medio del análisis de cuatro especies de peces (H.

---

<sup>5</sup> El gramaloteo es un arte de pesca que se desarrolla en las orillas de los lagos, particularmente en sitios donde se puede parar el pescador, para lo cual pasan por debajo de los pastos flotantes o gramalotes una red de 15 o más metros de largo, y aproximadamente 10 metros de alto. Una vez envuelto el gramalote en la red, cortan la base de los pastos y los arrastran hasta un sitio seco en la orilla. Este arte de pesca captura muchas especies de consumo de tallas pequeñas que se desarrollan en este hábitat. El gramalote lo componen pastos y vegetación flotante con el predominio total del género *Paspalum* de tallos gruesos enraizados a la orilla del lago, conjuntamente con parches insertos de *Polygonium* y *Oriza*, y en menor medida plantas flotantes de los géneros *Pistia*, *Eichornia*, y helechos del género *Ceratopteris*. Las artes de Arrastre son todas aquellas actividades que contemplan la instalación de una red por un período de tiempo en sitios estratégicos de circulación de peces, la cual es manejada a consideración temporal del pescador.

*edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*) registradas en los lagos de Yahuaraca, las cuales tienen participación y relevancia en los mercados locales. Esta composición trófica propuesta se desarrolla mediante la herramienta computacional del software Ecopath bajo el siguiente planteamiento teórico, buscando las condiciones de equilibrio del sistema descritas inicialmente por Christensen y Pauly (1992):

$$B_i \cdot PB_i \cdot EE_i - \sum_j (B_j \cdot QB_j \cdot DC_{ji}) - EX_i = 0$$

Donde:  $B_i$ : Biomasa de la presa  $i$ .

$PB_i$ : Producción / Biomasa de  $i$ .

$EE_i$ : Eficiencia ecotrófica de  $i$ .

$B_j$ : Biomasa del depredador  $j$ .

$QB_j$ : Consumo / biomasa del depredador  $j$ .

$DC_{ji}$ : Fracción de la presa  $i$  consumida por el depredador  $j$ .

$EX_i$ : Exportación de biomasa de  $i$  por fuera del sistema.

Así, para un sistema con  $n$  grupos o componentes tróficos, el sistema requerirá  $n$  ecuaciones lineales que son resueltas usando el método generalizado de inversas (Mackay, 1977).

La elaboración del modelo no requiere la incorporación de todos los parámetros de entrada de algunos de los grupos o componentes tróficos, ya que Ecopath relaciona la producción de un grupo con los demás que estén enlazados de manera trófica, donde esos lazos pueden estimar los parámetros que faltan de los demás grupos relacionados. Esto se basa en el supuesto que la producción de un grupo finaliza en algún lugar del sistema.

La matriz de Leontief es un método desarrollado para medir las interacciones directas o indirectas en la transferencia de biomasa de un componente trófico a otro en unidades porcentuales, donde es posible incorporar las actividades pesqueras dentro del análisis como un componente más del sistema y el efecto de éstas en los demás componentes tróficos. Este análisis del Impacto Trófico Mixto (MIT) se construye mediante una matriz de dimensiones  $n$  por  $n$ , donde  $i$  y  $j$  representan los elementos que interactúan entre el grupo impactante  $i$  y el grupo impactado  $j$ . Se representa mediante la siguiente ecuación:

$$MIT_{i,j} = DC_{i,j} - FC_{i,j}$$

Donde  $DC_{i,j}$  es la composición de la dieta expresada en términos porcentuales, considerando cuánto contribuye  $j$  en la dieta de  $i$ . De igual forma,  $FC_{i,j}$  es el patrón de composición en términos de la proporción de la depredación sobre  $j$  dado que  $i$  es el predador. Cuando calculamos el patrón de composición de las artes de pesca, éstas son incluidas como predadores. El resultado se expresa en un histograma de columnas las cuales se direccionan hacia arriba de la gráfica para representar un efecto positivo en la biomasa de los grupos impactados por el aumento en una unidad porcentual en la biomasa del componente ubicado en el eje vertical. De igual forma se expresan columnas direccionadas hacia abajo de la gráfica, para representar un efecto negativo en la biomasa de los grupos impactados por el aumento en una unidad porcentual en la biomasa del componente ubicado en el eje vertical.

De igual forma, la propuesta metodológica pretende incorporar elementos de la teoría económica en la estructura trófica que se desarrolla, por medio de dos artes de extracción pesquera, caracterizados en los lagos de inundación tropical amazónicos de Yahuaraca, donde se debe considerar el aporte económico a las poblaciones locales por

la extracción de las cuatro especies de peces (*H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*) expresado en una función económica de beneficios (Mankiw, 2003).

La función básica de beneficios (*Ben*) se expresa mediante una expresión matemática que depende de los Ingresos Totales (*IT*) concebidos por las actividades de extracción pesquera y los Costos Totales (*CT*) generados por dichas actividades extractivas. La función se expresa teóricamente de la siguiente forma:

$$f(\text{Ben}) = f(\text{IT}, \text{CT})$$

Donde la forma funcional propuesta es:

$$\text{Ben} = \text{IT} - \text{CT}$$

$\text{IT} = p \cdot Q$ ; sea:  $p$  el precio del kilogramo de la especie de pez comercializado en el mercado local y  $Q$  las cantidades en kilogramos comercializadas en cada faena de extracción.

$\text{CT} = \text{CF} + \text{CV}$ ; sea:  $\text{CF}$  los costos fijos generados por las actividades de extracción que no dependen de las cantidades extraídas ( $Q$ ) y se incurren una sola vez al corto plazo y  $\text{CV}$  que representan los costos variables o costos que dependen directamente de las cantidades que sean extraídas ( $Q$ ) y que son generadas en cada faena de extracción.

Entonces:  $\text{Ben} = (p \cdot Q) - (\text{CF} + \text{CV})$ ; donde los beneficios son representados en unidades monetarias establecidas, en un período de tiempo y en cada arte de pesca desarrollada.

De acuerdo al anterior planteamiento económico, se desarrolla el método de Lagrange para la solución de problemas restringidos (Maldonado, 2008), en donde se pretende maximizar una función objetivo, que en este caso es la función de beneficios, con sus respectivas variables de decisión que deben estar en algún conjunto de restricciones, que para el ejercicio actual está la restricción de la función de costos. En otras palabras, maximizar los beneficios bajo la restricción de los costos de producción en las diferentes artes de pesca. El proceso de optimización de los multiplicadores de Lagrange está definido bajo el siguiente planteamiento matemático teórico:

$$\text{Max } f(\text{Ben}), \text{ sujeto a: } f(\text{CT})$$

Desarrollando el planteamiento del presente análisis tenemos:

$$L = f(\text{Ben}) - \lambda[f(\text{CT})]$$

$$L = [(p \cdot Q) - (\text{CF} + \text{CV})] - \lambda[\text{CF} + \text{CV}]$$

Donde  $L$  es el Lagrangiano y  $\lambda$  es el multiplicador de Lagrange. Desarrollando el modelo de optimización propuesto por medio de la identificación de las condiciones de primer orden necesarias para resolver el problema de maximización, tenemos que:

$$\frac{\partial L}{\partial \text{CF}} = -1 - \lambda$$

Se encuentra el cambio marginal en los costos de extracción del recurso pesquero, de acuerdo a los dos artes propuestos, a medida que cambia en una unidad el costo que no está relacionada con las unidades extraídas o costo fijo.

$$\frac{\partial L}{\partial \text{CV}} = -1 - \lambda$$

Lo anterior muestra el cambio marginal en los costos de extracción del recurso pesquero, de acuerdo a las dos artes propuestas, a medida que cambia en una unidad el costo relacionado con las unidades extraídas o costo variable.

Si se igualan las expresiones:

$$\frac{\partial L}{\partial \text{CF}} = -1 - \lambda \text{ con } \frac{\partial L}{\partial \text{CV}} = -1 - \lambda,$$



Tenemos que:

$\frac{\partial E}{\partial CF} - \frac{\partial E}{\partial CF}$ ; donde los cambios marginales de los costos que dependen de las cantidades extraídas son iguales a los costos marginales de los costos que no dependen de las unidades que son extraídas mediante las diferentes artes de pesca.

Si los costos marginales de un arte de pesca (por ejemplo el Gramaloteo) sobrepasan los costos marginales de la actividad sustituta (para el ejemplo el Arrastre), el agente económico se decide por optar por la última actividad.

Por otro lado se puede estimar una tercera condición de primer orden mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\partial E}{\partial E} = -(CF + CV)$$

Al desarrollar la anterior expresión se calcula la magnitud en la variación de los costos de extracción de cada arte de pesca, al variar en una unidad el costo de disponer o no, esa unidad extraída. También puede ser interpretada como el precio sombra o como el costo marginal que se asume por no disponer de esa unidad extraída (el análisis inverso es interpretado como el beneficio marginal que se asume por disponer de esa unidad que no se extrajo).

## MÉTODOS

Los registros de la estructura del ecosistema que se usaron para la formulación del modelo propuesto, provienen de trabajos realizados en los lagos de inundación de la cuenca media y alta del río Amazonas, los cuales han sido expuestos en el trabajo de Angelini y Petre (1996), donde muestran la composición trófica de los lagos de inundación tropical amazónicos. Estos primeros registros se han venido complementado y ajustando en posteriores documentos desarrollados por Angelini, Frabe y da Silva (2006). De acuerdo a las estructuras en la composición de la producción primaria de los lagos amazónicos, se han desarrollado trabajos desde la década de los ochenta con Junk y otros autores (Junk, Bayle y Sparks, 1989; Junk 1997). Los estudios en la composición de plantas macrófitas en los lagos amazónicos es sustentado en el estudio de Junk y Piedade de 1997. La composición en la estructura ecológica del perifiton es consolidada a partir del estudio doctoral de Doyle (1991). De igual forma, es necesario contemplar la acción de la hojarasca del bosque de inundación que se incorpora al cuerpo de agua, haciendo parte de las estructuras tróficas del sistema mediante procesos de descomposición y consumo (Rueda, Wantzen y Beltran, 2006).

Con respecto a la composición trófica de las poblaciones de peces analizados en el presente documento, se obtuvo la información alimentaria, biomasa y mortalidad, en estudios de Cutrim y Batista (2005) para la especie *Hypophtalmus edentatus*; para las poblaciones de *Pseudoplatystoma fasciatum* se retomaron estudios de Angelini y Angostinho (2005), composición de dietas de bagres (Avila, 1999; Fabre et al, 2000) y la estructura de la biomasa de los mismos (Fabre, Donato y Alonso, 2000). Para *Prochilodous nigricans* la información fue obtenida en Isaac y Moura (1998) complementada con el trabajo de Vieira (2003). La información recopilada para la especie *Mylossoma aureum* fue tomada del trabajo de Angelini (2002) complementado con la revisión de Angelini y Angostino (2005), ratificado con el reciente trabajo de Peña, Alonso y Agudelo, realizado para los lagos de Yahuaraca (2009) y comparado con el estudio realizado en Yahuaraca por Peña (2008) para la especie de palometa conocida como *Mylossoma duriventre*. Las descripciones de las especies de peces analizadas en el presente documento, fueron corroboradas por el estudio de Mojica, y los demás autores (2005), Galvis, y los demás autores (2006) y por el estudio del 2009

correspondiente al conocimiento tradicional de las comunidades indígenas locales en el uso y extracción de estas especies del lago Yahuaraca (Duque, 2009).

Los precios de las especies comercializadas en el puerto de Leticia se evidenciaron y registraron en Marzo de 2009 (Torres y Morales, 2009) y se confrontaron con los registros tomados por la Corporación Colombia Internacional (2009) donde también se registran los costos de extracción de algunas de las técnicas o artes de pesca desarrolladas en los lagos de Yahuaraca.

## RESULTADOS

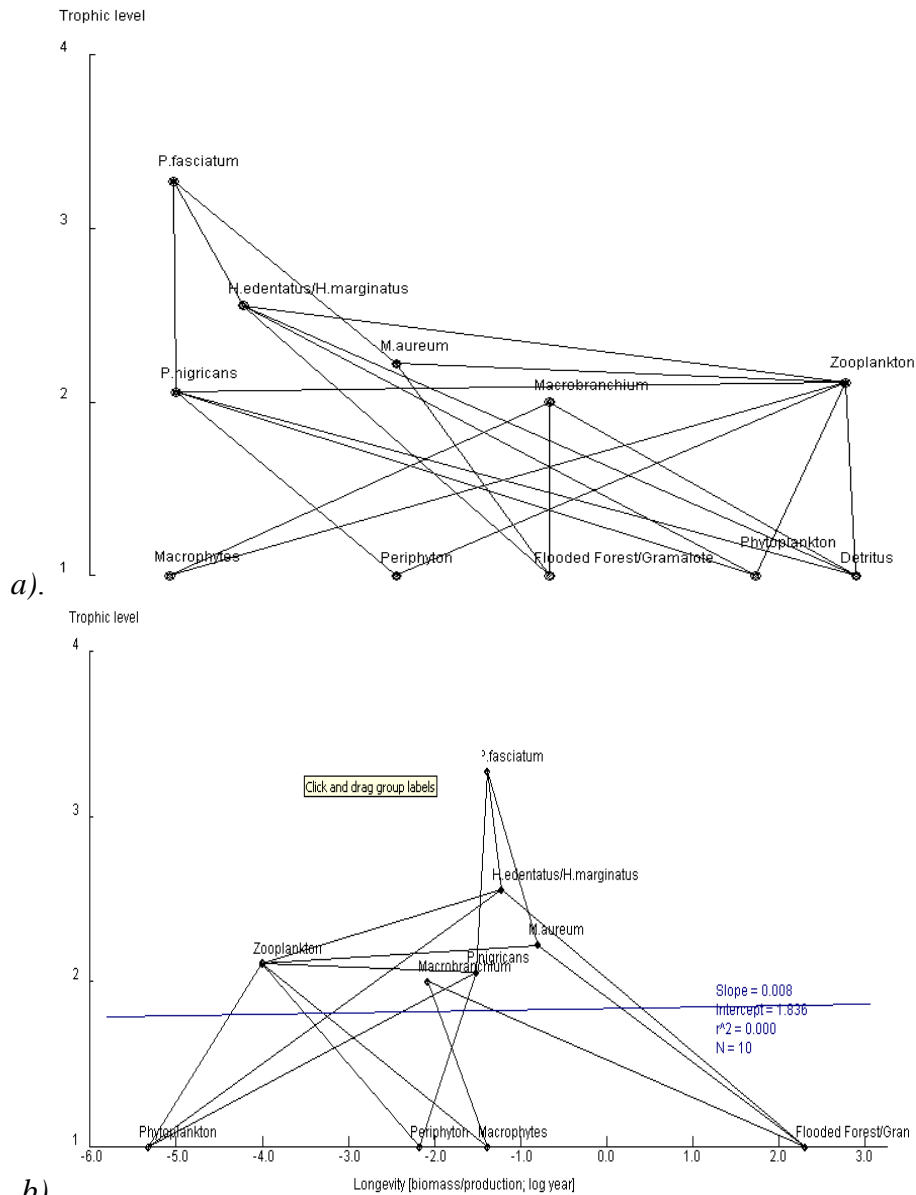
La herramienta analítica expone que las cuatro especies de peces analizadas pertenecen a los niveles tróficos superiores o consumidores, donde la Tabla 1 muestra los parámetros que fueron incorporados al modelo, para así calcular la eficiencia ecotrófica de cada componente en ausencia de actividades extractivas. La mayor biomasa por unidad de área de un componente consumidor, es de la especie de *P. nigricans* la cual consume altas cantidades de pastos aportados por el bosque ripario, alimento disponible en altas cantidades para este pez. El modelo calculado muestra que esta especie registra los valores más altos de producción por unidad de biomasa (Tabla 1).

La eficiencia ecotrófica calculada para la especie *P. fasciatum* es igual a cero, donde el modelo no incorpora datos de depredación natural para esta especie (*P. fasciatum*). De igual forma, el nivel trófico mayor lo presenta esta especie considerando los altos niveles de depredación de otros peces de menor talla. Además es la especie que tiene mayores niveles de consumo por cada unidad de biomasa.

Tabla 1. Estimaciones realizadas por medio del software Ecopath de los componentes tróficos analizados en los lagos de Yahuaraca en un escenario sin pesca de las especies *H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*.

Grupo	Nivel Trófico	Biomasa (t/km <sup>2</sup> )	Producción/Biomasa (Año)	Consumo/Biomasa (Año)	Eficiencia Ecotrófica	Producción/Consumo
<i>H. edentatus</i> / <i>H. marginatus</i>	2.56	4.123	3.4	7.6	0.488	0.447
<i>P. fasciatum</i>	3.27	1.9	4	12	0	0.333
<i>P. nigricans</i>	2.06	5.125	4.57	10	0.292	0.457
<i>M. aureum</i>	2.22	4.644	2.23	8.3	0.881	0.269
<i>Macrobranchium</i>	2	3.2	8	80	0	0.1
<i>Zooplankton</i>	2.11	24.2	54.7	273.5	0.52	0.2
<i>Macrofitas</i>	1	17.1	4		0.9	
<i>Perifiton</i>	1	38	8.8		0.2	
<i>Foresta</i>						
<i>Inundada</i> / <i>Gramalote</i>	1	39060	0.1		0.02	
<i>Fitoplancton</i>	1	17.1	205		0.4	
<i>Detritus</i>	1				0.512	

Al incorporar al modelo las cantidades que son extraídas por medio de las dos artes de pescas analizadas (Gramaloteo y Arrastre), se evidencia el cambio de los valores en la eficiencia ecotrófica de las cuatro especies de peces donde las artes de pesca reestructuran el flujo de consumo de la red modelada. En la Tabla 2 se puede ver la reasignación de valores y el balance trófico al considerar el efecto de las cantidades extraídas por la pesca, en especial con la especie *P. fasciatum*, la cual no presenta depredadores naturales en sus etapas adultas en los lagos, pero si tiene una demanda alimenticia por las poblaciones humanas.



Fuente: Autor.

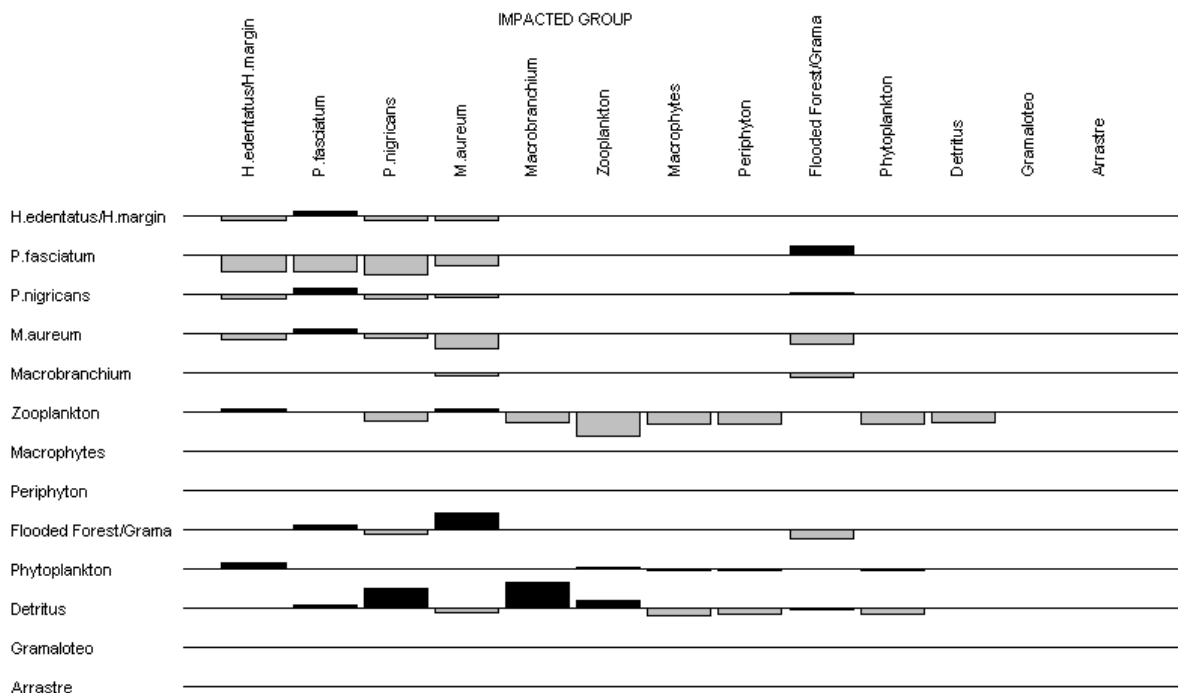
Figura 1. Estructura de la red trófica para las cuatro especies de peces analizadas en los lagos de Yahuaraca. a). Niveles tróficos registrados en la aproximación trófica. b). Relación de los niveles tróficos y la relación entre biomasa y producción mediante un análisis de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados ordinarios.

La red trófica se representa en la Figura 1, donde la parte *a*) muestra los conectores tróficos de los diferentes niveles, en los cuales se evidencia que la especie *P. fasciatum* está en el nivel trófico más alto del modelo. En la parte *b*) se muestra que la red trófica y sus conectores no presentan dependencia entre los niveles tróficos y la relación entre la biomasa y la producción (Longevidad), calculado por medio del método estadístico de mínimos cuadrados ordinarios.

De las especies de peces que aportan las mayores cantidades de biomasa al sistema mediante procesos de descomposición, la especie *M. aureum* aporta al sistema 20.5 toneladas de materia orgánica por kilómetro cuadrado en cada año.

La matriz de Leontief es una herramienta que permite conocer los efectos directos e indirectos en la biomasa de los grupos o componentes tróficos a partir de la simulación en un aumento en una unidad porcentual en la biomasa de un único grupo o componente que impacta a los demás (Angelini y Gomes, 2008). Las Figuras 2 y 3 muestran los impactos positivos o negativos de cada grupo resultado del incremento en un uno por ciento de cada componente que impacta a los demás, bajo un escenario sin pesca y otro con pesca, respectivamente.

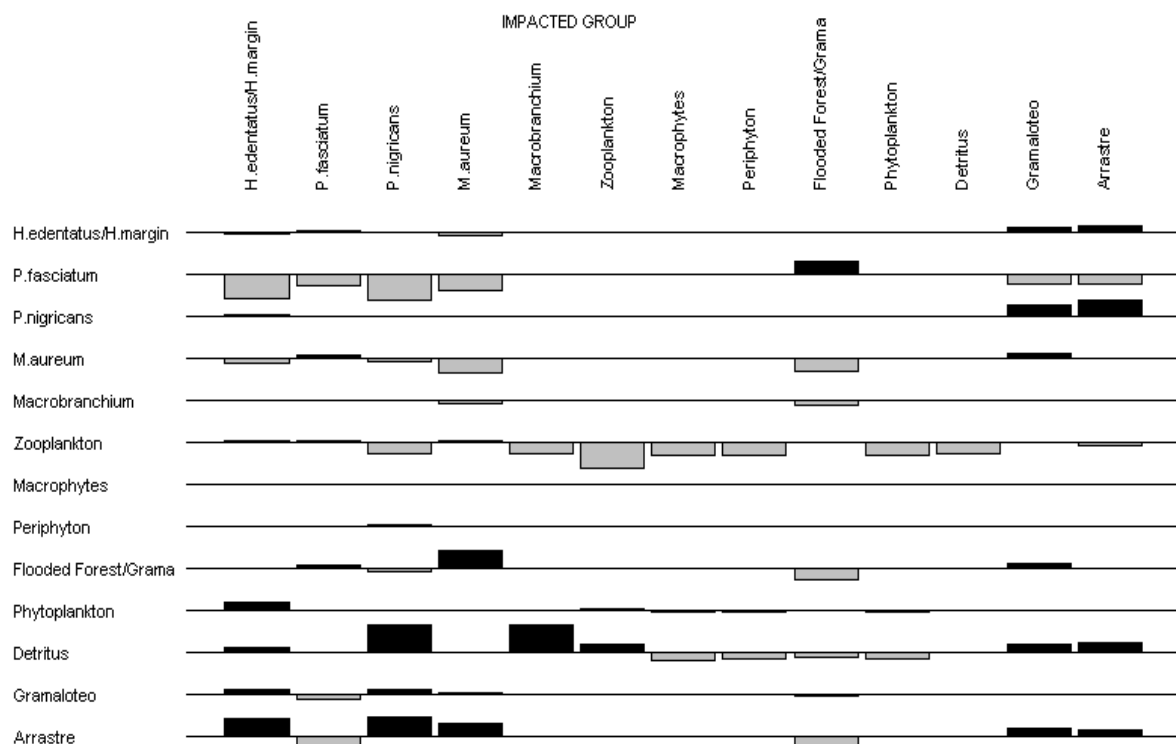
La Figura 2 muestra que en un escenario sin extracción pesquera, la especie *P. fasciatum* tiene un impacto positivo en su biomasa, cuando aumenta en un uno por ciento los niveles de biomasa de la especie *H. edentatus*. La especie de Pintadillo o *P. fasciatum* impacta de manera negativa las demás especies de peces cuando aumenta en una unidad porcentual su biomasa, de acuerdo a su comportamiento trófico de consumidor. El comportamiento trófico de la especie *M. aureum* y su aumento en una unidad porcentual en la biomasa, afecta de manera negativa a las especies *H. edentatus* y *P. nigricans*, y de manera positiva al depredador *P. fasciatum* (Figura 3).



Fuente: Autor.

Figura 2. Matriz de impacto trófico de Leontief bajo la estructura de un escenario sin extracción pesquera de las especies *H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*.

La siguiente matriz de impacto, considerando el desarrollo de las actividades extractivas de pesca, muestra que el aumento en una unidad porcentual en la biomasa de la especie *P. fasciatum* genera disminución de la biomasa de las especies de peces analizadas. Al considerar en el modelo a las artes de pesca (Gramaloteo y Arrastre) como un componente trófico adicional, se puede decir que al aumentar en una unidad porcentual las unidades de extracción, se impacta de manera negativa a la biomasa de la especie *P. fasciatum*, lo que impactaría causalmente de manera positiva a las demás especies de peces (Figura 3).



Fuente: Autor.

Figura 4. Matriz de impacto trófico de Leontief bajo la estructura de un escenario con extracción pesquera (Gramaloteo y Arrastre) de las especies *H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*.

La extracción del recurso pesquero en los lagos de Yahuaraca, se realiza por parte de las comunidades indígenas que se localizan junto a este cuerpo de agua. La especie que registra los mayores niveles de extracción es conocida comúnmente como Bocachico (*P. nigricans*), la cual es considerada como una especie de alto consumo y buena comercialización local. El arte de pesca más apropiado para la captura de esta especie son las artes de arrastre (Barthem y Goulding, 2007). De igual forma una de las especies de más alto consumo local es la Palometa o *M. aureum* (Peña, 2008). La CCI (2009) ha registrado estos niveles de extracción de acuerdo a los seguimientos en el puerto de Leticia y en el presente documento se ha generado la diferenciación por arte de pesca expresado en la Tabla 3.

Tabla 3. Cantidades aproximadas en la extracción anual por pescador, de las especies *H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*, en los lagos de Yahuaraca (Gramaloteo y Arrastre).

Group \ catch (ton/km <sup>2</sup> /year)	Gramaloteo	Arrastre	Total catch
H.edentatus/H.marginatus	0.05	0.15	0.2
P.fasciatum	0.06	0.2	0.26
P.nigricans	0.08	0.3	0.38
M.aureum	0.075	0.09	0.17
Total catch	0.265	0.74	1.005
Trophic level	2.47	2.51	2.5

Fuente: Modificación de los registros del puerto de Leticia (CCI, 2009) mediante narraciones y seguimientos locales.

La maximización de la función de beneficios muestra que el arte pesquero del Arrastre presenta los mayores beneficios, frente al Gramaloteo, considerando las condiciones de restricción en los costos generados. La especie que involucra los mayores beneficios de acuerdo a los costos de extracción es la especie *P. fasciatum* y la especie que involucra los menores beneficios de acuerdo a los costos de extracción es la Palometa o *M. aureum*, en la técnica de arrastre (Tabla 4).

Tabla 4. Maximización económica de los beneficios generados por individuo de acuerdo a la extracción anual de las especies *H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*, en los lagos de Yahuaraca (Gramaloteo y Arrastre).

Group \ value profits (USD/2009)	Fish Arts		
	Gramaloteo	Arrastre	Catch value
H.edentatus/H.marginatus	148.67	446	594.66
P.fasciatum	252.43	841.58	1094.02
P.nigricans	217.3	814.88	1032.18
M.aureum	148.52	178.22	326.73
Total value	766.91	2280.68	3047.59
Total cost	613.53	1710.51	2324.04
Total profit	153.38	570.17	723.55

Fuente: Cálculos del Autor.

Los beneficios económicos generados por cada individuo a partir de las técnicas de Arrastre, son mayores a los beneficios económicos obtenidos por el Gramaloteo en 417 unidades monetarias para el año 2009 (Tabla 4). Estos cálculos son considerados por individuo o pescador.

## DISCUSIÓN

Las cuatro especies de peces descritas en el modelo trófico (*H. edentatus*, *P. fasciatum*, *P. nigricans* y *M. aureum*), hacen parte de los niveles tróficos superiores ya que son

organismos consumidores, en especial la especie *P. fasciatum* o pintadillo, el cual consume peces de menor talla (Mojica, et al, 2005; Duque, 2009).

La especie *P. nigricans* o Bocachico consume altas cantidades de detritus y gramalote aportado a los costados de los lagos (Duque, 2009), lo cual se registra en el presente análisis por medio de los altos niveles de biomasa para esta especie. De igual forma, esta especie es de las más extraídas por las comunidades locales, por la evidente tendencia al autoconsumo. Al ser entrevistados los pescadores de esta especies, ellos exponen que, por razones culturales y propias de su cosmovisión del entorno, la preferencia de consumo es por peces con escamas, dejando para el intercambio comercial a las especies de piel como el Pintadillo o *P. fasciatum*.

Al considerar la eficiencia ecotrófica en un escenario donde no se realizan actividades de pesca, se evidencia que especies como *P. fasciatum* no tienen depredadores naturales, también corroborado por Mojica y los demás, 2005, Galvis y los demás, 2006 y Duque (2009). Al incorporar las artes de Arrastre y Gramaloteo dentro del análisis del modelo trófico, se evidencia una distribución de la eficiencia ecotrófica estimada de las cuatro especies de peces (Tablas 1 y 2).

Los niveles tróficos del modelo propuesto se relacionan entre sí por medio de los flujos de interacción (Angelini y Angostinho, 2005; Angelini, et al, 2006), pero en el modelo propuesto no se encontró relación entre la longevidad (relación biomasa/producción) y los niveles tróficos como lo propone Christensen y Pauly (1992); en otras palabras, no se puede concluir que al tener un mayor nivel trófico se tiene mayor longevidad (Figura 1, b). Se debe considerar de manera paralela, que las especies de peces que aportan las mayores cantidades de materia orgánica al sistema en forma de detritus por procesos metabólicos de alimentación y respiración, son las especies que dependen alimenticiamente en gran parte del aporte de materia orgánica proveniente del bosque ripario. Este caso se evidencia con la especie *M. aureum*, la cual aporta al sistema más de 20 toneladas de materia orgánica por kilómetro cuadrado en un año, y según Mojica (y los demás, 2005), Galvis (y los demás, 2006), Peña (2008) y Duque (2009), se alimenta de frutas y flores provenientes del bosque (Figura 1).

La especie *P. fasciatum* genera un impacto negativo en la biomasa de las demás especies de peces analizadas en el modelo propuesto, cuando aumenta en una unidad porcentual su biomasa. Esto es por el comportamiento alimenticio de consumidor de este pez, el cual consume peces de menores tallas como el Bocachico (*P. nigricans*), la Palometa (*M. aureum*) y el Mapará (*H. edentatus*), sustentado por los estudios de Fabre (y los demás, 2005), Mojica (y los demás, 2005), Angelini (y los demás, 2006), Galvis (y los demás, 2006) y Duque (2009). Por otro lado, se puede evidenciar que al incorporar al modelo las unidades de captura por medio de las artes de pesca de Arrastre y Gramaloteo, la especie que se ve impactada de manera negativa es *P. fasciatum*, lo que provoca de manera causal el aumento de las biomásas de las otras tres especies. El Arrastre es el arte de pesca que más impacta de forma negativamente a *P. fasciatum*, con respecto al Gramaloteo.

Al identificar a *P. nigricans* como una de las especies que tienen mayores niveles de extracción para el autoconsumo y comercialización local, por parte de las poblaciones indígenas, se puede inferir sobre los beneficios económicos que esta actividad genera. Esta especie registra una extracción por individuo o pescador de 80 kilogramos por kilómetro cuadrado en un año, por medio de la técnica del Gramaloteo, y más de 300 kilogramos por kilómetro cuadrado en un año por medio del Arrastre. Lo anterior se evidencia por medio de los seguimientos locales y los registros en el puerto de Leticia realizados por la CCI (2009).

Los beneficios generados en la extracción de las especies de peces analizadas, son mayores cuando se realizan por medio de las artes de Arrastre, debido a los costos de extracción en que se incurre, los cuales son menores que los costos de extracción por jornada de Gramaloteo. De acuerdo a los resultados expuestos en la Tabla 4, se muestra que los beneficios económicos totales por individuo son de 724 unidades monetarias para el 2009, considerando de manera conjunta la extracción pesquera por medio de las técnicas de Gramaloteo y Arrastre. Al evidenciar las faenas de pesca en la zona de estudio, se observa que se requiere de mayor tiempo por jornada en el Gramaloteo, obteniendo peces de menor talla.

### **AGRADECIMIENTOS**

Se reconoce la participación y apoyo de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, representada por la Dirección de Investigaciones, y al Laboratorio de Limnología liderado por Guillermo Rueda. El importante apoyo de la Universidad nacional de Colombia, sede Amazonia, en especial al grupo de investigaciones liderado por Santiago R. Duque. Al instituto amazónico de investigaciones científicas, SINCHI, en especial al grupo de ecosistemas acuáticos liderado por Juan Carlos Alonso. Se agradece a los aportes científicos realizados por Ronaldo Angelini de la Universidad Estadual de Goiás en Brasil. De manera especial se reconoce el apoyo científico y financiero de la Fundación TROPENBOS representada en Colombia por Carlos Rodriguez.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- ALONSO, J.C., NUÑEZ, M., AGUDELO, E., RICAURTE, L.F. y SÁNCHEZ, C.L. 2006. Ecosistemas acuáticos de la amazonia colombiana: Avances y perspectivas. *Revista Colombia Amazónica*, 6(1):10-28.
- AGUDELO, E., ALONSO, J.C., SÁNCHEZ, C.L., NUÑEZ, M. y RICAURTE, L.F. 2006. Amazonia: el fileteo como alternativa para la generación de empleo y renta en la región colombiana. *Infopesca Internacional*, 25(1): 19-27.
- ANGELINI, R. 2002. Avaliacao da capacidade-suporte da represa do Broa para a colocacao de tanques-rede. *Revista Saude e Ambiente*, 3(2): 42-48.
- ANGELINI, R. and ANGOSTINHO, A.A. 2005. Parameter estimates for fishes of the upper Paraná river and Itaipu reservoir (Brazil). *Naga-WorldFish Center Newsletter*, 28(1): 53-57.
- ANGELINI, R., FABRE, N.N. and dA SILVA, U. 2006. Tropic analysis and fishing simulation of the biggest Amazonian catfish. *African journal of Agricultural Research*, 1(5): 151-158.
- ANGELINI, R. y GOMES, L.C. 2008. O artesao de ecossistemas: construindo modelos com dados. Editora da Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- ANGELINI, R. and PETRERE, M. 1996. The ecosystem of the Broa Reservoir (Brasil), modeled using the Ecopath II. *Naga – The ICLARM Quartely*, 19(2): 36-41.
- AVILA, M.I. 1999. Aspectos de la biología y ecología de los peces de consume en la región de Araracuara, con énfasis en las familias Pimelodidae, hypophtalmidae, Anostomidae, Serrasalmidae, Chichlidae y Scianidae. Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- BARTHEM, R. y GOULDING, M. 2007. Un ecosistema inesperado: la Amazonia revelada por la pesca. Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA). Lima.



- BATISTA, V.S., INHAMUS, A.J., FREITAS, C.E. and FREIRE, D. 1998. Characterization of the fishery in river communities in the low/high Amazon region. *Fisheries Management and Ecology*, 5(1): 419-435.
- CHRISTENSEN, V. and PAULY, D. 1992. Ecopath II – A software for balancing steady-state ecosystems models and calculating network characteristics. *Ecological modeling*, 61: 169-185.
- CHERRET, J.M. 1989. Ecological concepts. Ed. Blackwell scientific publications, London.
- CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL – CCI. 2009. Servicio de información pesquero y acuícola. Sistema de información de precios agropecuarios. Extraído en Junio de 2009: [http://www.cci.org.co/cci/cci\\_x/scripts/home.php?men=101&con=192&idHm=2&opc=199](http://www.cci.org.co/cci/cci_x/scripts/home.php?men=101&con=192&idHm=2&opc=199)
- CUTRIM, L. y BATISTA, V.S. 2005) Determinacao de idade e crescimento do mapará (*Hypophthalmus edentatus*) na Amazonia Central, *Acta Amazonica*, 35(1): 85-92.
- DOYLE, R.D. 1991. Primary production and nitrogen cycling within the periphyton community associated with emergent aquatic macrophytes in an Amazon floodplain lake. Ph.D. Thesis, University of Maryland at College Park.
- DUQUE, S.R. 2009. Conocimiento local indígena sobre los peces de la Amazonia: Lagos de Yahuaraca. Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia, Editora Guadalupe, Bogotá.
- FABRE, N.N., BARTHEM, R., CARVALHO, A.R. and ANGELINI, R. 2005. Sistema integrado para o manejo dos grandes bagres migradores. Editorial do Ibama, Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis.
- FABRE, N.N., DONATO, J.C. y ALONSO, J.C. 2000. Bagres de la Amazonia colombiana: Un recurso sin fronteras. Serie: Estudios regionales de la Amazonia colombiana. Instituto amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. Bogotá, Colombia.
- GALVIS, G., MOJICA, J.I., DUQUE, S.R., CASTELLANOS, C., SÁNCHEZ, D., ARCE, M., GUTIERREZ, L.F. JIMÉNEZ, F., SANTOS, M., VEJARANO, S., ARBELÁEZ, F., PRIETO, E. y LEIVA, M. 2006. Peces del medio Amazonas. Región de Leticia. Serie guías tropicales de campo N° 5. Conservación Internacional. Editorial Panamericana, Formas e Impresos, Bogotá.
- ISAAC, V.J. y MOURA, U.S. 1998. Taxa de consumo alimentar de tres populações de peixes do estuário do rio Caete, Braganca, no litoral Norte do Brasil, *Boletim Serie Zoologia*, 14(1): 57-75.
- JUNK, W.J. 1997. The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system, *Ecological studies*, 126 (1): 147-185.
- JUNK, W.J., BAYLE P.B. and SPARKS, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain system. *Fish aquatically sciences*, 106: 113-127.
- JUNK, W.J. and PIEDADE, M.T. 1997. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. *Ecological studies*, 126 (1): 147-185.
- MALDONADO, J.H. 2008. Economía de recursos naturales: aplicaciones de economía computacional en la solución de problemas dinámicos. Universidad de Los Andes, Facultad de Economía, Ediciones Uniandes, Bogotá.
- MACKAY, A.L. 1977. The generalized inverse and inverse structure. *Acta Crystallographica Section A*, 33(1): 212-215.
- MANKIW, G. 2003. Principles of economics. Second edition. Harcourt Brace and Company. New York.

- MOJICA, J.I., GALVIS, G., ARBELAEZ, F., SANTOS, M., VEJARANO, S., PRIETO, E., ARCE, M., SÁNCHEZ, P., CASTELLANOS, C., GUTIERREZ, A., DUQUE S.R., LOVON, J. y GRANADO, C. 2005. Peces de la cuenca del río Amazonas en Colombia: Región de Leticia, *Biota Colombiana*, 6(2): 191-210.
- PEÑA, L.C. 2008. Pesca de la Palometa (*Mylossoma duriventre*) en el sector de frontera Brasil-Colombia-Perú del Río Amazonas: consumo, biología reproductiva y dinámica poblacional. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Amazonia, Leticia.
- PEÑA, L.C., ALONSO, J.C. y AGUDELO, E. 2009. Biología reproductiva de la Palometa (*Mylossoma duriventre*, Cuvier 1818) en el sector de frontera Brasil-Colombia-Perú. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia. Leticia, Colombia.
- RUEDA, G., WANTZEN, K.M. and BELTRAN, T.M. 2006. Leaf-litter decomposition in an Amazonian floodplain stream: effects of seasonal hydrological changes. *Journal of North American Benthological Society*, 25(1): 231-247.
- TORRES, C. y MORALES, L.F. 2009. Estructura del mercado pesquero asociado al sistema de lagos de inundación amazónicas: Leticia, Amazonía colombiana. Facultad de Administración de Empresas Agropecuaria, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, *Working-Paper*.
- VIEIRA, E.F. 2003. Estudo da dinamica sazonal e interanual da estrutura populacional e do impacto da exploracao pesqueira dos jaraquis nos subsistemas hidrográficos da Amazonia central. Tese de Doctorado, IMPA, Manaus, Brasil.

# INFLUENCIA DE CAMBIOS BRUSCOS EN EL DÍNAMO SOLAR SOBRE EL SISTEMA CLIMÁTICO TERRESTRE

*Influence of the sudden changes in the solar dynamo  
on the terrestrial climate system*

**Adrian Mario Silva**

Universidad de Buenos Aires, Departamento de Ciencias Exactas UBA - CBC.  
Instituto de Astronomía y Física del Espacio<sup>2</sup>.  
adriansilva@fibertel.com.ar

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la relación entre cambios en el comportamiento magnético del Sol y sus efectos sobre la ionósfera y el clima terrestre. Los datos analizados cubren el período entre fines del siglo XIX y comienzos del siglo XXI (1880 – 2007).

El análisis del índice geomagnético aa y los comienzos súbitos de tormentas geomagnéticas (SSC) mediante ondeletas de Morlet muestran transiciones abruptas. Las áreas de las manchas solares indican cambios similares en la serie. También están presentes en las cascadas de llamaradas energéticas. Estas concordancias revelan la interacción entre el campo magnético toroidal y poloidal solar y su efecto sobre el geomagnetismo. Los cambios abruptos se localizan temporalmente alrededor de 1923 (comienzo de una transición caótica ascendente en el dínamo solar), 1949 (fin de la misma), 1981 (intensa emergencia de flujo magnético) y entre 1992 y 1996 (transición caótica descendente). Estas variaciones excitan una onda de 157 – 160 días que se evidencia en el análisis con ondeletas.

En este trabajo se estudia la relación entre estos eventos y las posibles respuestas del sistema climático atmósfera-océano, a través de las variables El Niño/Oscilación Sur (ENSO) que representa la variabilidad de la temperatura superficial del Océano Pacífico ecuatorial, la Oscilación Decadal Pacífica y la intensidad del flujo de los oestes calculada mediante el índice del Modo Anular del Sur (MAS).

Todos estos modos de oscilación se encuentran relacionados con variables terrestres climáticas tales como las precipitaciones y la temperatura, representadas por la tasa de formación de nubes y la serie de anomalías térmicas globales anuales. En las variables climáticas se identifican cambios de fase sincrónicos con las variables geomagnéticas y solares.

**Palabras clave:** Sol, campo magnético, geomagnetismo, clima terrestre

## ABSTRACT

The aim of this work is to analyze the connection between magnetic sun behaviour changes and their effects on ionosphere and terrestrial climate. The data set under analysis range between the end of 19 century and beginning of 21 (1880 – 2006).

The analysis of geomagnetic index aa by means of Morlet wavelets shown sudden transitions. The same behaviour is founded in the sudden storm commencements (SSC) of geomagnetic storms with a temporal lag of order of one year. The sunspot areas show a similar trend and synchronic clear changes. The energetic flares cascades are too presents in the changes periods. These relations are indicators of the interaction between the sun toroidal and poloidal magnetic field and the geomagnetism. The sudden changes

occurs around the years 1923 (solar dynamo ascending chaotic transition), 1949 (end of this), 1980 (intense magnetic flux emergence), and 1994 – 1998 (dynamo sun descending transition). They excite a 157 - 160 days wave revealed by the wavelet analysis.

In the present work is studied the connection between these phenomenon and the forces that control the ocean – atmosphere system and the corresponding possible responses of the system, through the El Niño South oscillation (ENSO) that represent the Ocean Equatorial Pacific surface temperature variability, the Pacific Decadal Oscillation, and the strengthening of western flux of South Hemisphere calculated by means of SAM index (South Annular Mode).

All these oscillation modes that are related with terrestrial climatic variables as temperature and precipitations, present phase changes synchronic with the geomagnetic and solar variables. Finally, the annual global temperature series show signs of these changes.

**Key words:** Sun, magnetic field, geomagnetism, terrestrial climate

## INTRODUCCIÓN

### a) El campo magnético solar

La actividad solar de manchas, explosiones y expulsión de masa, está controlada por el campo magnético del Sol (Figura 1).



Figura 1: Se observa el colosal efecto del campo magnético solar en esta imagen satelital del SOHO (Solar Heliospheric Observer) tomada en el 2005.

El Sol, genera este campo mediante el efecto dinámico, que a partir de cierto campo semilla extrae energía del movimiento del plasma en la zona de transición del interior solar, y realimenta al campo (Stix, 1990). Para que esto funcione es necesario un campo interno toroidal que crea un campo poloidal, que es el que llega hasta la Tierra. Estos campos se realimentan mutuamente, y es en las eyecciones de campo de magnético donde ocurren las transiciones más drásticas. El dinámico solar requiere de una rotación diferencial del fluido, que se logra por movimientos meridionales desde el ecuador solar a los polos. Este es el “Omega-Effect”. Es necesario también que las líneas de campo puedan agruparse y tener un movimiento inducido por la convección de calor y la rotación general del Sol, condición conocida como “Alfa-Effect” (Stix 1980), como se indica en la Figura 2.

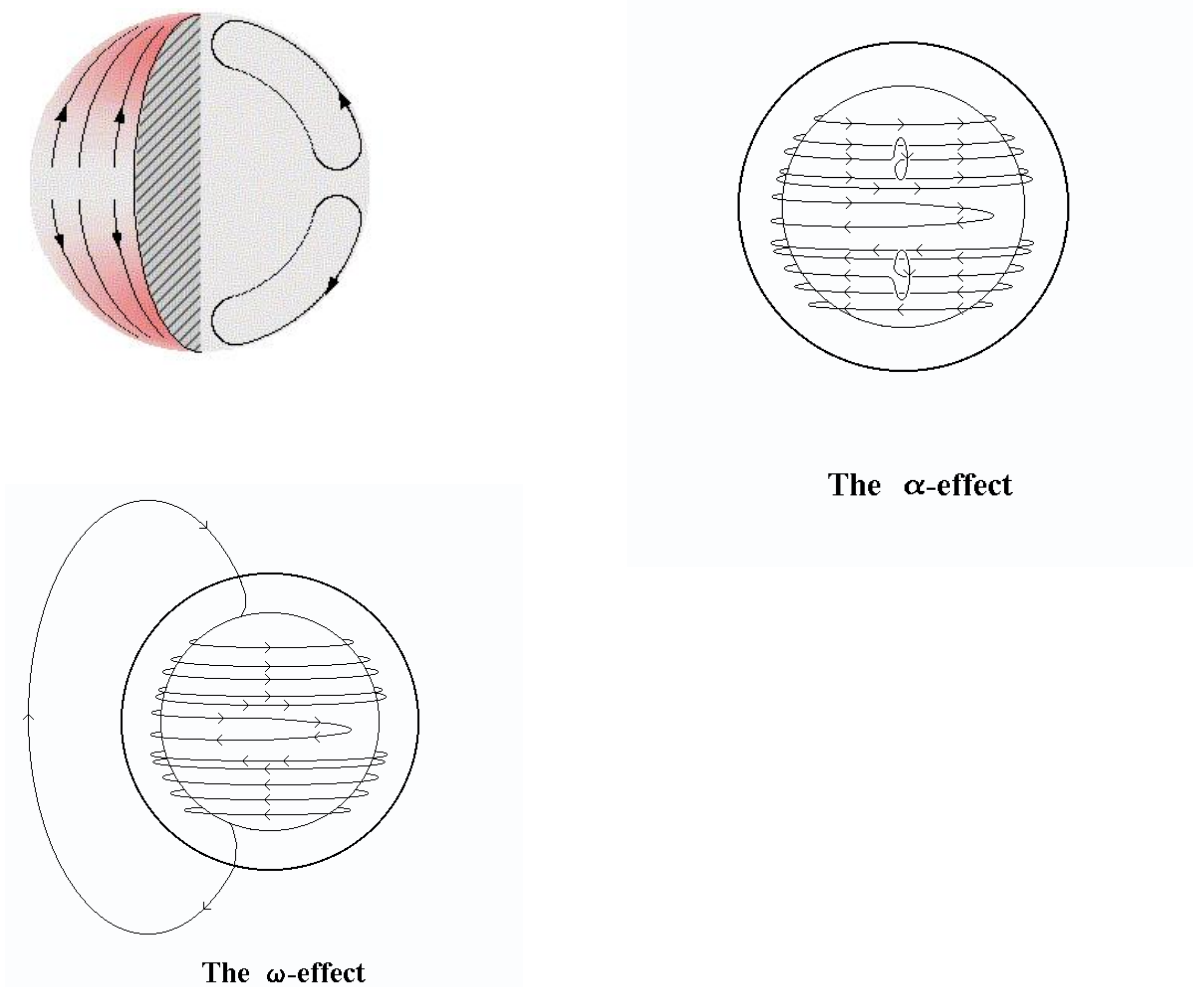


Figura 2. Corrientes meridionales en el interior del sol y geometría de las líneas de campo magnético en los efectos  $\alpha$  y  $\omega$ .

El ciclo solar de 11 años, la inversión de la polaridad, la reversión del campo secular, y otros efectos se deben explicar en este marco (Charbonneau, 2005). La emergencia de flujo magnético, principalmente a través de la creación y destrucción de manchas solares y grupos, materializa la eyección de campo toroidal interno (Stix 1990), y es el fenómeno clave para caracterizar las transiciones caóticas y el efecto sobre las variables climáticas terrestres. Existe un indicador medible y cuantificable de la emergencia de flujo: se trata de una oscilación de 154 –160 días que se excita tanto en las transiciones caóticas como en los eventos de emergencia de flujo (Ballester *et al.*, 2002) (Duhau 2003 b). Esta onda fue detectada por primera vez por Rieger *et al.*, (1984), empleando datos del espectrómetro GRS a bordo del Solar Maximum Mission SMM en la ocurrencia de fulguraciones en rayos X duros. La misma también es observada en datos del satélite GOES (Geosynchronous Operational Environmental Satellites) para el ciclo 21 (Bogart y Bai, 1985), así como en las áreas de manchas solares (Lean, 1990), durante los ciclos solares 19 –21, y aún como parte de un posible evento de ascenso caótico en ciclo solar 2 entre 1750 y 1775 (Ballester *et al.*, 1999). Esta onda representa un aspecto global del movimiento del

plasma fluido interno del Sol, dado que está presente en subarmónicos durante todos los ciclos desde el 14 al 23, y aún en el radio medio del Sol (Silva, 2005)

La periodicidad cercana a 160 días en las fulguraciones solares en un amplio rango de energías desde los rayos X a las ondas de radio, en las áreas de manchas y en el número de Wolf, es objeto de intensos estudios. Oliver *et al.*, (1998) realizan el primer análisis empleando wavelets, de la tasa de ocurrencia de fulguraciones y de áreas de manchas solares durante los ciclos 16 a 21 y encuentran que la periodicidad aparece en el ciclo 16, es máxima en el ciclo 19 y desaparece completamente después del ciclo 21. El sincronismo de esta aparición esporádica de la periodicidad con un evento de ascenso caótico en la actividad solar y magnética hallado por Duhau (2003b) y Duhau y Chen (2002), indica que, como fue sugerido por Oliver *et al.*, (1998) la periodicidad de 158 días está relacionada con la desestabilización del dínamo debida a la emergencia de nuevo flujo magnético durante los ciclos 16 a 21.

En la actualidad se han descubierto varios eventos de cambios impulsivos en los indicadores de actividad solar, directamente como en los grandes mínimos de Maunder en 1705, la transición caótica ascendente que comenzó en 1923 y la descendente comenzada en 1993 (Duhau, 2003b); o indirectamente por medio de los archivos de abundancias de  $^{10}\text{Be}$  y  $^{14}\text{C}$  en los hielos que son anti correlacionados (Bazilevskaya, 2000) con la energía transportada por los tubos abiertos de flujo magnéticos solares (Zwan, 1985). De la última manera se encontraron grandes mínimos y máximos hasta el año 800 AC. La escala de tiempo de los mínimos a las transiciones de los mínimos aparece de orden de 200 años (Schüssler & Schmitt 2004).

Hay trabajos abundantes teóricos sobre el dínamo solar, pero la conexión con el fenómeno real es dificultosa ya que los modelos precisan valores de los parámetros que son desconocidos (Schmitt *et al.*, 1996, Charbonneau 2005). En este trabajo se muestran los efectos cuantitativos de las transiciones caóticas la dínamo solar y eventos de emergencia de flujo magnético (EMF). Esta aproximación empírica puede servir para la búsqueda del proxys de los parámetros y para la previsión de eventos futuros.

### **b) Transiciones caóticas del dínamo solar**

Los modelos teóricos de variabilidad magnética solar son revisados en Schüssler y Schmitt (2004) y Charbonneau (2005). Estas transiciones han sido identificadas y caracterizadas por Carbonell *et al.*, (1994), y Duhau (2002, 2003b)

Un posible escenario para este tipo de proceso es:

- Un acople de dos ondas en fase o anti-fase, como los ciclos de Schwabe y Gleissberg de 22 y 88 años, respectivamente (Duhau 2002)
- Un campo medio por sobre un umbral de campo magnético toroidal (Schmitt *et al.*, 1996)
- Un aumento de campo magnético medio con eyección de energía magnética de la zona convectiva hacia la capa del dínamo (transiciones ascendentes)
- La excitación de ondas Magneto Hidrodinámicas MHD en el dínamo subfotosférico a las zona convectiva (Silva 2008b)
- La eyección de campo del toroidal a la heliosfera y su rápida expansión como campo poloidal (Emergencia de flujo magnético)
- Intensos comienzos de tormenta como respuesta ionosférica, como los observados en el ciclo 22 (Silva 2007, Silva 2008 a)

Mediante las observaciones se encuentra que aparece:

- Brusco crecimiento (entre 6 meses y 2 años) de variables solares / terrestres: áreas de manchas solares, número de manchas solares, campo magnético fotosférico, comienzos bruscos de tormentas geomagnéticas e índices geomagnéticos (aa, ap, kp).

- Cambios bruscos de fase entre número y áreas de manchas e índices geomagnéticos

### c) Variables climáticas

La Pequeña Edad de Hielo (PEH) fue un período frío que abarcó desde mediados del siglo XIV hasta mediados del siglo XIX.

En el período ocurrieron tres pulsos de valores mínimos de temperatura. El primero centrado en 1650, el segundo en 1770 y el tercero hacia 1850. La disminución de la actividad solar, el aumento de la actividad volcánica y el cambio en las concentraciones de Dióxido de Carbono fueron los principales forzantes durante esos períodos.

El índice de Oscilación Sur (SOI) es uno de los parámetros más importantes en la determinación del clima, junto a la Oscilación Decadal Pacífica y el Modo Anular de vientos del Sur (SAM). EL SOI es un índice numérico que se obtiene comparando la presión atmosférica al nivel del mar entre Darwin y Tahiti. Durante el episodio de Niño, el índice se vuelve un número negativo, y se caracteriza calentando el Océano Pacífico central y oriental, perturbando muchos de los sistemas del clima del mundo en el proceso. Durante el episodio de La Niña, se revierte el proceso en las mismas aguas. El ciclo entre estos dos episodios es conocido como el la Oscilación Sur de El Niño, o ENSO.

### MATERIALES Y METODOS

- Área de manchas solares
- Número de Zurich de manchas solares (Rz)
- Índice geomagnético *aa*
- Índice del comienzo brusco de tormentas geomagnéticas (SSC)
- Temperatura media global (ETA)
- Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)
- Modo Anular del Hemisferio Sur (SAM)

La base de datos de áreas de manchas solares se puede obtener del National Geophysical Data Center of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) en <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/stp.html>.

El índice SSC es definido como la amplitud por la duración. Los datos se obtienen del ISGI en <http://www.cetp.ipsl.fr/isgi/homepage.htm>

Hemos realizado un análisis wavelet multiresuelto empleando la función generadora compleja de Morlet:

$$\Psi_0(\mathbf{t}) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 \mathbf{t}} e^{-\mathbf{t}^2 / 2} \quad (1)$$

Donde  $t$  es el tiempo y  $\omega_0$  es el parámetro de frecuencia adimensional, tomado = 6.

*Es conveniente generar las escalas de acuerdo con las potencias crecientes de dos, tal*

*como se especifica en Torrence y Compo<sup>(9)</sup>*

$$S_j = S_0 2^{j\delta_j} \quad j = 0, 1, \dots, J \quad (2)$$

Donde  $S_0$  es la menor escala resoluble, que se ha tomado en este trabajo igual a 2 días. El número de subescalas determina el valor de  $\delta_j$  y fue elegido como se dijo de manera de incluir los períodos relevantes. Sobre las dos bases de datos se calculó el espectro wavelet global de acuerdo con:

$$\bar{W}^2(s) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |W_n(s)|^2 \quad (3)$$

La función  $W(s)$  está dada por la convolución de la compleja conjugada de  $\Psi$  con la serie de datos  $X_k$ .

Los espectros obtenidos han sido normalizados con las constantes adecuadas para radio y áreas, y tomando en cuenta el número de días considerados en cada ciclo, de modo de poder comparar los espectros respectivos. El análisis se ha hecho en el entorno del máximo de cada ciclo, tomando tres años.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### D) Áreas de manchas solares

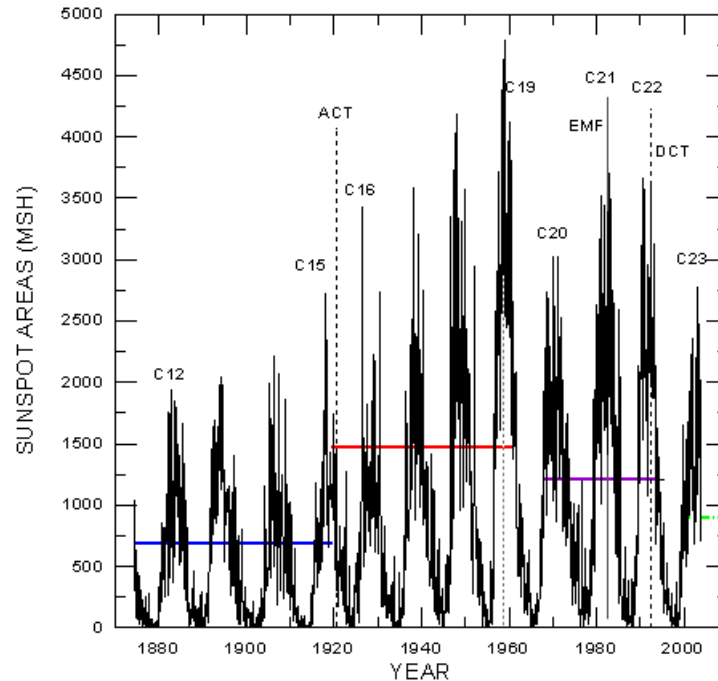


Figura 3. Evolución temporal de áreas de manchas solares. Las áreas están promediadas mensualmente.

En la transición caótica ascendente de 1923 el valor medio se ha incrementado en un factor 2. Las líneas llenas indican los valores medios calculados en la emergencia de flujo EMF que precede a la transición caótica descendente DCT.

Hasta 1923 las medias están en 700 millonésimos del hemisferio solar (MSH), desde allí comienza la transición caótica ascendente ACT caracterizada por:

- 1) Aumento brusco de las variables solares, (el área media sube a 1500, factor  $>2$ )
- 2) Excitación de la onda de 160 días asociada a la emergencia de flujo magnético a través de flares, de líneas de campo "congeladas" en el plasma bipolar y del viento solar (Figura 4).



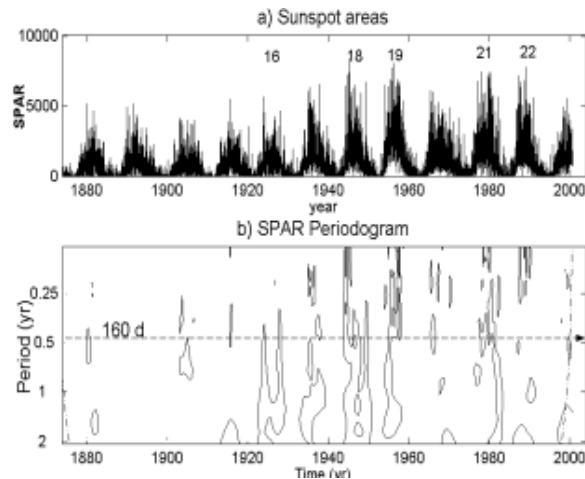


Figura 4. Panel superior: serie temporal de áreas. Panel inferior: Periodograma que indica los periodos de oscilación excitados vs el tiempo en años. Se observa en el periodograma la excitación de la onda de 160 días en la TCA y en EFM.

- 3) Anulación aparente de una componente oscilatoria del dínamo lenta (Duhau 2003b) de entre 70 y 90 años (ciclo de Gleissberg) que se acopla con el ciclo solar de 22 años.
- 4) Cambios en los niveles de las SSC y de los índices geomagnéticos.
- 5) Cambio en la fase entre Rz y el índice geomagnético aa, tomados como proxys del campo magnético solar toroidal (interno en la zona convectiva a 0.7 Radios solares) y poloidal (que llega hasta la Tierra), Figura 5.

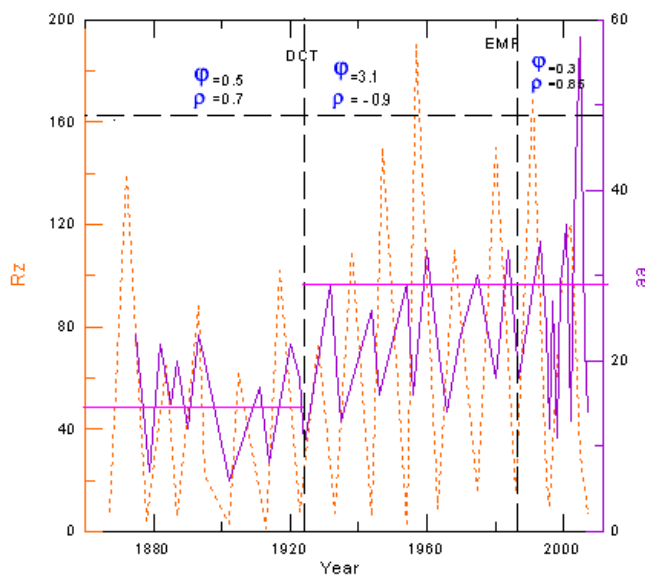


Figura 5. El número de Zurich de manchas solares Rz y el índice geomagnético aa,  $\varphi$  es la fase entre ambas variables, y  $\rho$  el coeficiente de correlación. Las líneas llenas horizontales corresponden a los valores medios promediados para ambas variables.

DCT de 1923 se caracteriza por un súbito aumento de las medias y una pérdida de la fase (la correlación cambia de positiva = 0.7 a negativa = -0.9).

EMF de ~ 1980 vuelven a ponerse en fase, correlación positiva = 0.85 junto con el aumento súbito de

“flares” de alta energía

- 6) En 1949 y hasta 1950 se recupera la onda cíclica de Gleissberg (Youssef, 2000) y hay un cambio en la fase entre Rz y aa, es en apariencia el fin del ascenso caótico asociado con el acople de dos ondas ubicadas a distinta profundidad en el Sol, pero que la turbulencia las pone en fase por periodos esporádicos. Es clave la onda de 160 días porque es sincrónica con las transiciones caóticas ascendentes y es una medida de la vida media de las manchas solares nuevas de tipo H (Silva 2008), (Stix, 1990)

Entre 1970 y 1982 las medias bajan en las variables solares no así en las terrestres que presentan cierta inercia para acompañar los cambios sobre todo los descendentes (no así con los ascendentes).

7) Entre 1982 y 1986 se produce la excitación de la onda de 160 días (ciclo21) (Rieger *et al.*, 1984; Oliver *et al.*, 1998), una intensa cascada de flares energéticos (H $\alpha$ , X, gamma, etc.) y una evidente emergencia de flujo magnético que termina por apagar casi totalmente las manchas solares a mediados del ciclo 22, con un marcado aumento del campo magnético fotosférico (Silva y Duhau, 2003) medido desde Kitt Peak y Mont Wilson como se observa en la Figura 6, con una nueva anulación del ciclo de Gleissberg, el fin de la excitación de la onda de 160 días, un nuevo cambio de fase  $Rz - aa$ , con un notable aumento del índice  $aa$  que absorbe el campo solar poloidal.

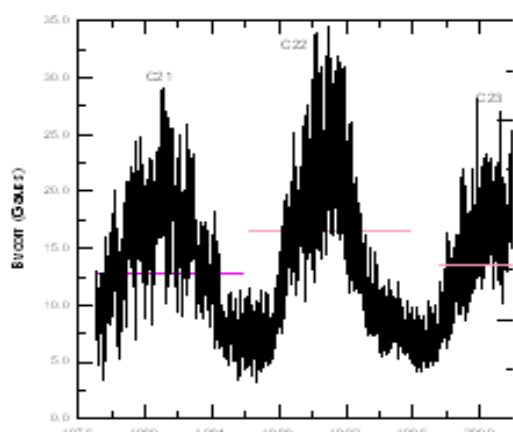


Figura 6. Campo magnético heliosférico medido por el magnetómetro de Kitt Peak. Las líneas llenas indican el valor medio del campo en Gauss. Se observa un marcado incremento durante el ciclo 22 consistente con la TCD del dínamo solar.

8) Desde allí la media parece caer a los valores de 1880 (750 manchas) y el pronóstico es que las variables terrestres llevarán varios años en responder a la transición caótica descendente comenzada en 1993-1994, de allí la línea de puntos en el gráfico.

## II) Índice SSC normalizado

Un estudio sobre la relación entre manchas solares grandes y las geomagnéticas puede encontrarse en Willis (2009). Dado que la cantidad de flujo magnético emergente es proporcional a las áreas de manchas solares (Carbonell y Ballester, 1990), cada sucesión de crecimiento y decrecimiento de las manchas inyecta energía magnética al medio interplanetario y se convierte en tormentas ionosféricas con un retraso de 3 – 4 días. En la Figura 7 se observa en forma concluyente la excitación de la onda de 160 días y el salto en el valor del índice.

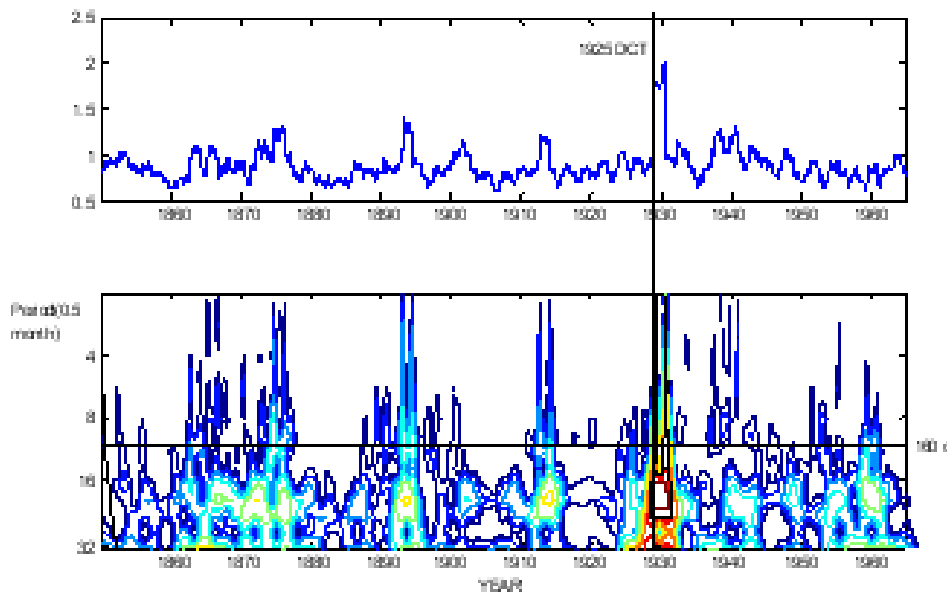


Figura 7. Panel Superior: Evolución temporal del índice SSC normalizado desde 1868 hasta 1967. El aumento en el valor medio es el efecto de la Transición caótica ascendente (TCA) de 1923-25 en los SSC incrementándolos en un factor de 2.

Panel inferior: análisis de ondeletas mediante el periodograma tiempo – período de ondas. Se excita la señal semestral en el máximo local que comienza en 1925. Este el máximo es el resultado de la emergencia del flujo magnético de las regiones activas del sol (creación-decrecimiento de las manchas solares), como lo indica la onda de 160 días.

En la figura 8 se muestra el resultado del análisis wavelet para el ciclo 21.

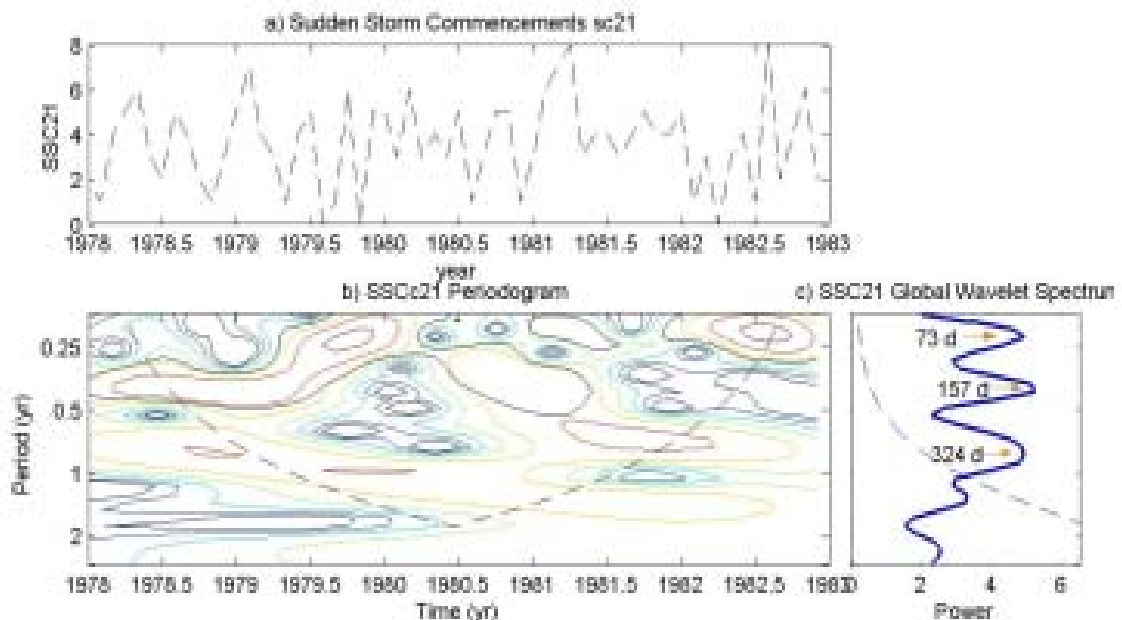


Figura 8. Serie temporal, periodograma y espectro wavelet global para el ciclo solar 21, coincidiendo con la Emergencia de flujo magnético EFM. Se observa la excitación por arriba del nivel de confianza de una onda de 157 días.

En la Figura 9 se observa el detalle del aumento del índice en el entorno de la transición caótica de 1923 –1925.

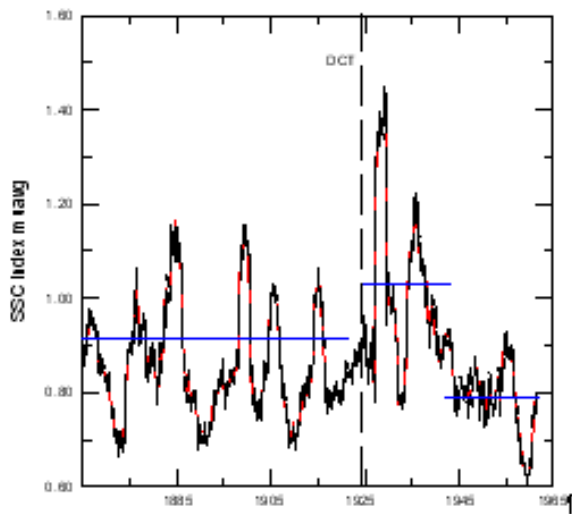


Figura 9. Evolución del índice de SSC mensualmente promediado. Ocurre un brusco crecimiento sincrónicamente con la transición ascendente del dínamo solar DCT. Las líneas llenas indican valores medios del índice.

### III) Índice *aa* geomagnético

En la figura 10 se observa la evolución del índice geomagnético *aa* desde 1880 hasta el 2006:

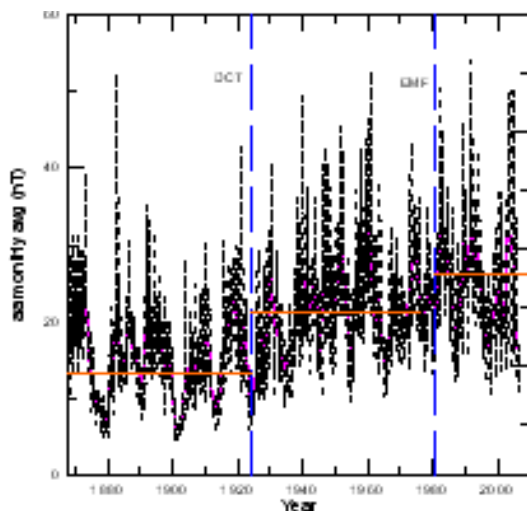


Figura 10. Promedio mensual del índice geomagnético *aa* y transición caótica solar (DCT) y emergencia de flujo magnético (EMF) Rápidos crecimientos del índice geomagnético *aa* ocurren en forma sincrónica con los cambios

registrados en el dínamo solar mediante la serie del área de manchas solares (también determinado a partir del número de Wolf). Un nuevo aumento a partir de EMF.

### IMPACTO EN EL CLIMA

Existen evidencias de que los cambios climáticos globales en la Tierra son producidos por variaciones en la incidencia de rayos cósmicos (Tinsley y Yu, 2004) en el sistema de corrientes eléctricas ionosféricas; estas variaciones están a su vez fuertemente ligadas a los comienzos súbitos de tormentas geomagnéticas SSC (Duhau, 2003a)

Los trabajos de referencia para la obtención de los datos oceánicos y atmosféricos son Ambenje *et al.*, (2007); Bindoff *et al.*, (2007).

### I) Anomalía de Temperatura global

Es la diferencia entre un valor promedio general y el valor en cada periodo de tiempo. En la Figura 11 puede observarse la reconstrucción wavelet de la serie de temperaturas alrededor de la transición caótica ascendente.

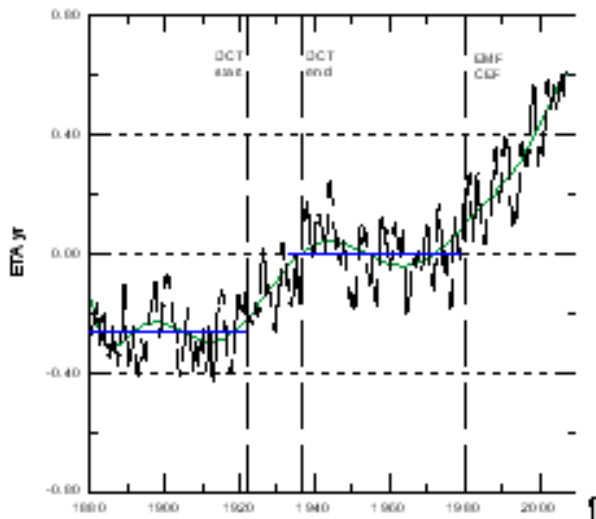


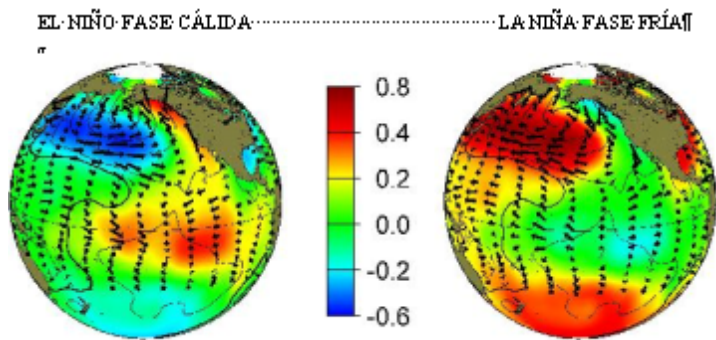
Figura 11. Anomalías de temperatura media global (negro) suavizado mediante ondas “wavelets” de períodos largos, en azul valores

medios de anomalías de temperatura.

Incremento abrupto de temperatura de 0.26°C que comienza sincrónicamente con la ocurrencia del DCT y termina con el fin de la DCT en 1948. Después del EMF la tendencia de la temperatura parece no seguir la señal solar.

### II) Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)

En la Figura 12 se muestra cómo opera la PDO.



Viento de superficie (flechas).

Figura 12. Patrones de anomalías durante las fases cálida y fría de la PDO: Temperatura Superficial del Mar (SST) típica del período de invierno del Hemisferio Norte (colores). Presión a nivel del mar (contornos).

En la Figura 13 se indican los notables cambios ocurridos en la PDO sincrónicos con las variaciones solares y geomagnéticas.

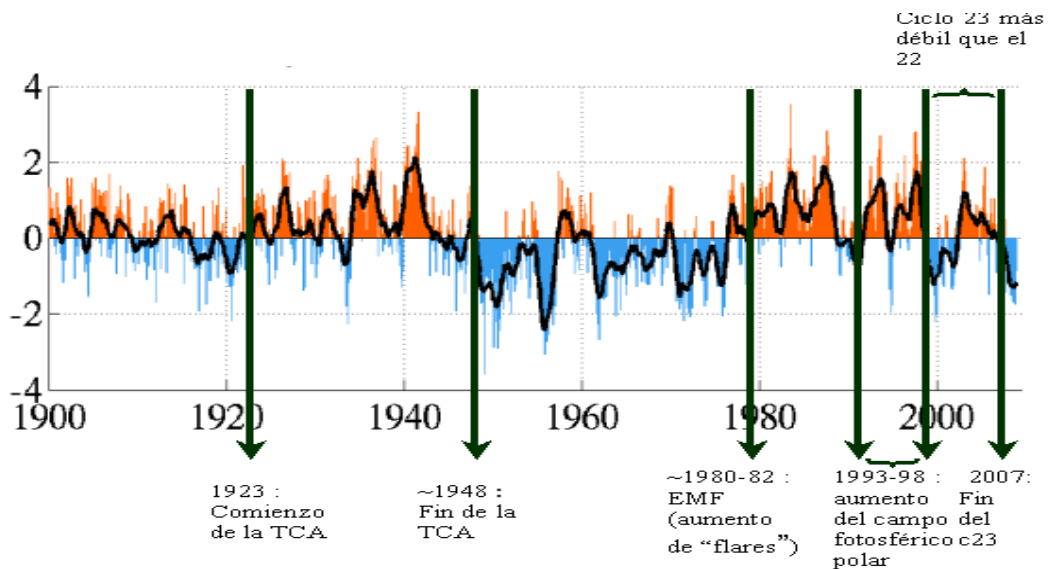


Figura 13. Se observa los cambios de polaridad, y de valor en el índice de la PDO, en la transición caótica ascendente TCA, el fin de ésta, la emergencia de flujo magnético EFM, y la transición caótica descendente TCD del ciclo solar 22

### III) Índice de la Oscilación Sur (SOI)

En la Figura 14 que indica las temperaturas oceánicas del Pacífico Sur y sus desviaciones estándar, se observa la reversión y aumento de nivel térmico asociados a la EFM y la TCD.

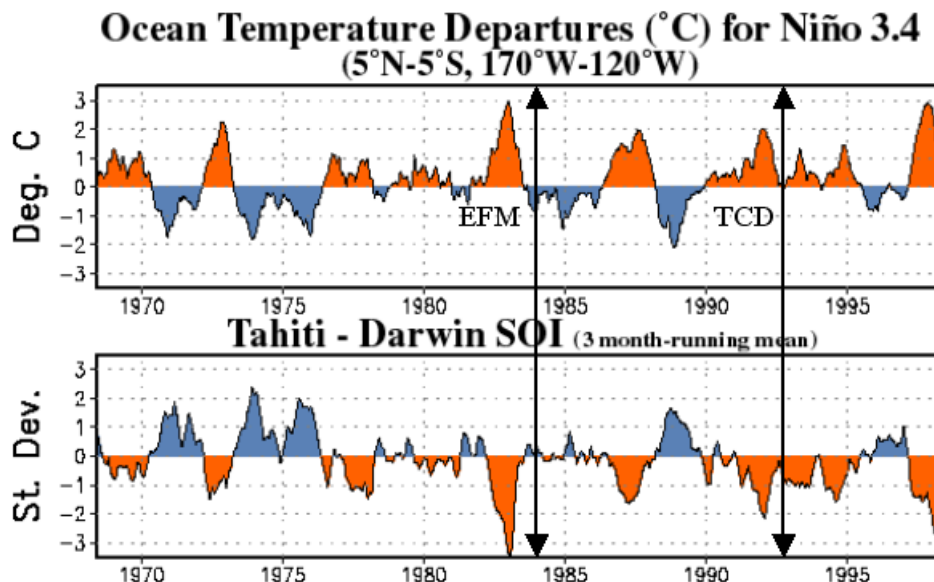


Figura 14. Índice SOI entre 1975 y 2000, las flechas llenas indican las transiciones solares.

Después de 20 años de datos satelitales de la Temperatura global hoy queda claro que el SOI es la fuente primaria de los cambios globales de año a año en la temperatura, efecto mostrado en la Figura 15.

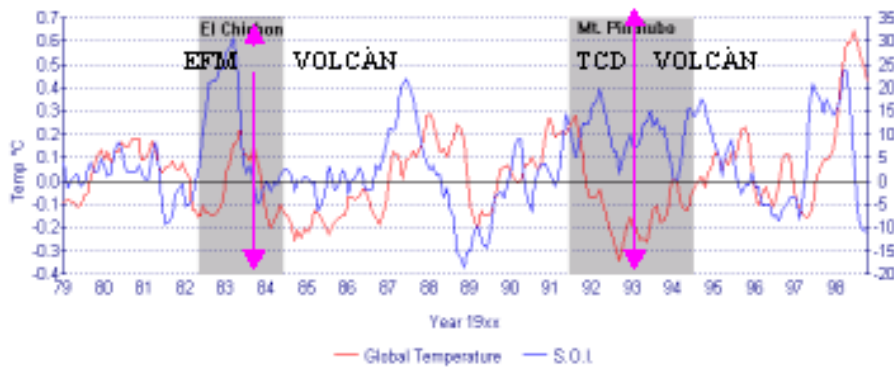


Figura 15. El índice SOI permite predecir con un adelanto temporal de 6 a 9 meses los cambios que van a acontecer en la temperatura global de la Tierra.

La respuesta mínima de la temperatura al aumento del SOI entre 1982 y 1984 es sincrónica con la violenta eyección de flujo magnético solar, y ésta con la erupción del volcán El Chichón que al producir mucho polvo y aerosoles hace que la atmósfera sea más reflectante a la irradiación solar, produciendo un descenso de la temperatura global. La erupción volcánica de Pinatubo resulta sincrónica con la transición caótica descendente del dínamo solar durante su ciclo 22, y se observa el mayor desfase entre el SOI y la anomalía en la temperatura global. El eje de ordenadas de la izquierda representa la anomalía térmica, es decir, la diferencia entre la temperatura promedio de 10 años y el valor de cada instante temporal.

#### IV) Modo Anular del Hemisferio Sur (SAM)

Los datos y gráficos fueron tomados de Marshall (2003).

En la Figura 16 se observa el Modo Anular que rodea la Antártida, se trata de un sistema de vientos que cambia drásticamente la temperatura oceánica del Atlántico Sur.

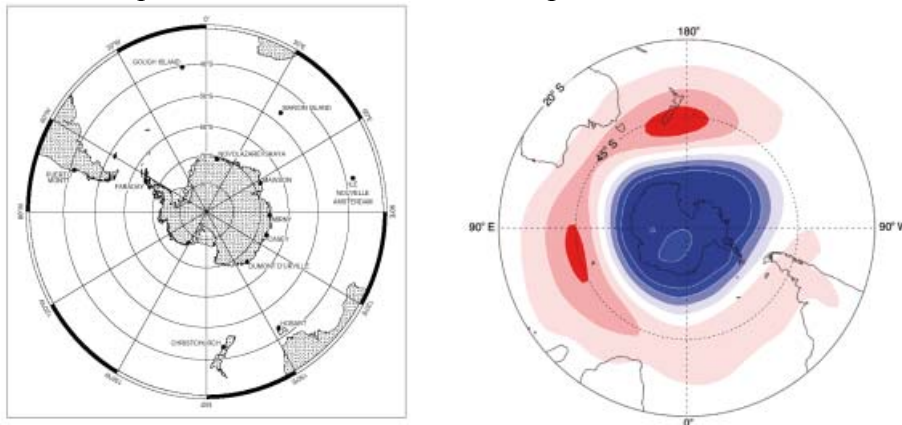


Figura 16. a) Localización de las estaciones utilizadas para el cálculo de la SAM y b) Patrón de anomalías de presión asociado a la fase positiva de la SAM (rojo sobre y azul bajo lo normal)

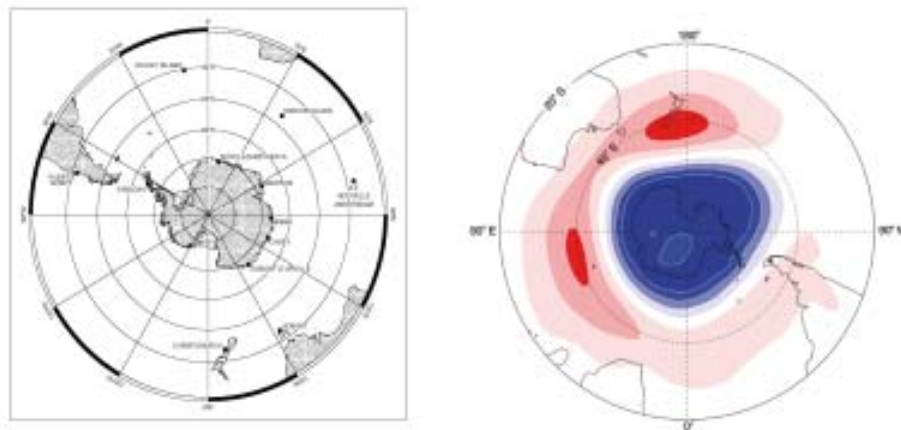


Figura 17. a) Localización de las estaciones utilizadas para el cálculo de la SAM y b) Patrón de anomalías de presión asociado a la fase positiva de la SAM (rojo sobre y azul bajo lo normal)

En la Figura 18 puede observarse el efecto sobre el índice SAM de la transición solar descendente TCD.

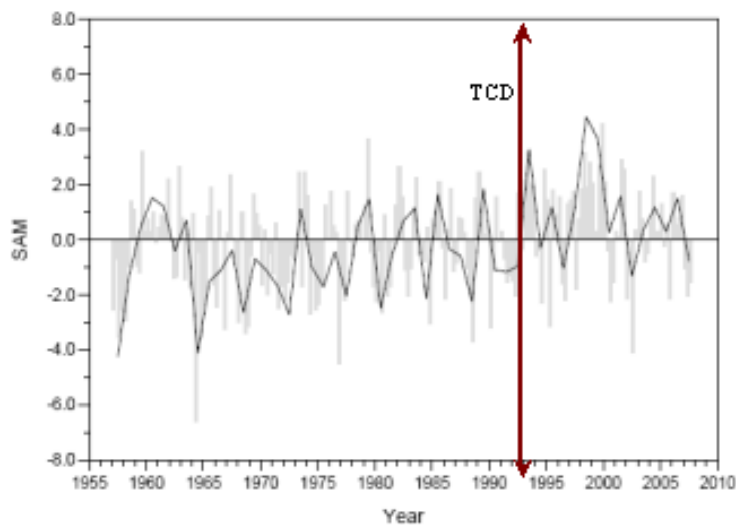


Figura 18. En 1993 la SAM pasa de fase preponderantemente negativa a fase positiva. A la vez ocurre una transición descendente en el dínamo solar.

Ésta se visualiza en la reducción llegando a la casi extinción de las manchas solares antes de la finalización del ciclo 22, y un consecuente aumento inusual en el campo magnético fotosférico que alcanza su máximo valor histórico desde que existen mediciones de magnetómetros (1970 en adelante). Este campo poloidal llega a la ionosfera terrestre y origina las más intensas tormentas geomagnéticas registradas desde 1880, medidas a través del índice de comienzo súbito de tormenta (SSC). Esta cadena causal se ve registrada en el cambio brusco de la SAM como indica la Figura 18.

**V) Efecto sobre las precipitaciones de la inyección de campo magnético solar en la alta atmósfera**



Un análisis global del fenómeno climático de las precipitaciones es realizado por Tinsley y Yu (2004), la figura siguiente es adaptada de este estudio. En la Figura 19 se observa el impacto evidente de las transiciones solares en la formación de nubes.

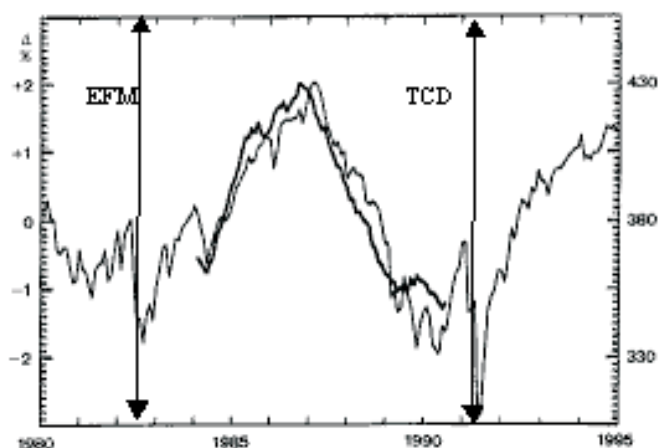


Figura 19. Tasa porcentual de Formación de nubes estratosféricas de altura e incidencia de rayos cósmicos en función del tiempo para los ciclos solares 21 y 22.

Resulta evidente que el aumento en el campo magnético solar en los eventos de emergencia de flujo magnético EFM y la transición caótica descendente del ciclo solar 22 TCD inciden directamente apantallando los rayos cósmicos y los productos secundarios de sus colisiones con moléculas de la alta atmósfera, lo que se traduce en la brusca disminución de centros de condensación formadores de nubes. Estos efectos afectan directamente el clima terrestre mediante la disminución de precipitaciones y las sequías concomitantes.

## CONCLUSIONES

Se puede concluir que amerita un estudio profundo sobre la conexión entre los cambios en el magnetismo solar y las variables determinantes del clima terrestre, dado que existen altas correlaciones entre las variables solares y geomagnéticas por un lado, y las temperaturas, vientos y precipitaciones por otro.

## BIBLIOGRAFIA

- AMBENJE P., BOJARIU R., EASTERLING D., KLEIN A., PARKER D., RUSTICUCCI M., SODEN B. and ZHAI P. 2007. Surface and atmospheric climate change. [3]. 236 – 292 En: Ed. Salomon S. y Qin D. Climate Change The Physical Science Basis, Wmo, UNP. Cambridge University Press.
- BINDOFF, N.L., J. WILLEBRAND, V. ARTALE, A. CAZENAVE, J. GREGORY, S. GULEV, K. HANAWA, C. LE QUÉRÉ, S. LEVITUS, Y. NOJIRI, C.K. SHUM, L.D. TALLEY and A. UNNIKRISHNAN, 2007: Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- BALLESTER J.L, OLIVER R, BAUDIN F., 1999. Discovery of the near 158 day periodicity in group sunspot number during the Eighteenth Century. *Astrophys. J.* 522, L153-L156

- BALLESTER J.L., OLIVER R. y CARBONELL M., 2002. The Near 160 day Periodicity in the photospheric magnetic flux. *Astrophys. J.* 566: 505-511.
- BAZILEVSKAYA G. A., 2000. Observations of variability in Cosmic rays. *Space Sci. Rev.* 94: 25-38.
- BOGART R. y BAI T., 1985. Confirmation of a 154 day periodicity in the occurrence of solar flares inferred from microwave data. *Astrophys. J.* 299: 51-55.
- CARBONELL M., y BALLESTER J.L., 1992. The periodic behaviour of solar activity: the near 155 – day periodicity in sunspot areas. *Astron. Astrophys.* 255: 350-362.
- CARBONELL M., OLIVER R. y BALLESTER J.L., 1994. A search for chaotic behaviour in solar activity. *Astron. Astrophys.* 290, 983 – 994.
- CHARBONNEAU, P., 2005. Dynamo Models of the Solar Cycle, *Living reviews in Solar Physics* 17 – 41
- DUHAU S.S., 2003a. Global Earth temperature changes induced by mean Sun dynamo magnetic field variations. p. 317 – 321. Ed.: A. Wilson. :*Proc. ISC Symposium: Solar variability as an input to the Earth's environment*. European Space Agency Publications Division. Tatranská Lomnica, Slovak Republic.
- DUHAU S. S., 2003b. On the nature of the steep changes in solar and geomagnetic activity after 1705, 1923 and 1993. p. 91 – 94. Ed.: A. Wilson. :*Proc. ISC Symposium: Solar variability as an input to the Earth's environment*. European Space Agency Publications Division. Tatranská Lomnica, Slovak Republic.
- DUHAU S. y CHEN C.Y., 2002. On the causes of the sudden increase of solar dynamo magnetic field after 1923. *Geophys. Res. Lett.* 29 (13): 6-10
- LEAN J., 1990. Evolution of the 155 day periodicity in sunspot areas during solar cycles 12 to 21. *Astrophys. J.* 363: 718-727.
- MARSHALL, G. J., 2003: Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. *J. Clim.*, 16: 4134-4143.
- OLIVER R., BALLESTER J. L. y BAUDIN F., 1998. A 160 day periodicity and the Emergence of magnetic flux. *Nature* 394: 552-554
- SHARE A, FORREST GH, KANBACH DJ, REPPIN G, CHUPP C, 1985. A 154-day periodicity in the occurrence of hard solar flares? *Nature* 312: 623-625.
- SCHMITT D., SCHÜSSLER M. y FERRIZ-MAS A. 1996. Intermittent solar activity by an on-off dynamo. *Astron. Astrophys.*, 311: 1-4.
- SCHÜSSLER M. Y SCHMITT D., 2004. Theoretical Models of Solar Variability. 33 – 49 Ed.: J. Pap and P. Fox. *Solar Variability and its Effects on Climate*, AGU Geophysical Monograph 141.
- SILVA A. M., 2008a. A solar magnetic flux emergence signature in geomagnetic storm sudden commencements and aa index. *EOS Trans. American Geophysical Union* AGU, 89 (23):31-32.
- SILVA A. M., 2008b. impulsive changes in solar dynamo and its effects in the ssc's, geomagnetic field and earth anomalies temperature. *EOS Trans. American Geophysical Union* AGU, 89 (23):42-43.
- SILVA A. M., 2007. Study of oscillations in Solar-Terrestrial variables. p 45-46 *Proc. American Geophysical Union Fall Meeting 2007*, American Geophysical Union Publishers, San Francisco USA
- SILVA A. M., 2005 Oscilaciones fundamentales y subarmónicos en la actividad solar y el radio medio del Sol. *Anales Asoc. Fís. Arg.* 16:35-40.
- SILVA A.M. Y DUHAU S., 2003. The 160-day periodicity in the  $\gamma$ - flare occurrence rates and sunspot areas during CGRO mission. *Ann. Asoc. Fís. Arg.* 14:292-297.
- STIX M., 1990. The Solar Cycle [8.4]. 301 –315. Ed. Astronomy and Astrophysics Library. The Sun, Springer-Verlag, Berlín, West Germany.

- STIX, M. 1980. Theory of solar cycle. 80 – 99. Ed. Akademie-Verlag, Berlín. Mean Field Magnetohydrodynamics and Dynamo Theory. Pergamon Press, Oxford.
- TINSLEY B. A. Y YU F., 2004. Atmospheric Ionization and Clouds as Links between Solar Activity and Climate. 321 – 339. Ed.: J. Pap and P. Fox. Solar Variability and its Effects on Climate. AGU Geophysical Monograph 141.
- TORRENCE CH. y COMPO G.P., 1998. A practical Guide for the Wavelet Analysis. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 79 (1): 61-78.
- WILLIS D.M., HENWOOD R. y STEPHENSON F. R., 2009. The presence of large sunspots near the central solar meridian at the times of major geomagnetic storms. *Ann. Geophys*, 27:185-197
- YOUSEF S.H., 2000. The solar Wolf-Gleissberg Cycle and its influence on the Earth. *ICEHM 2000*, Cairo University, Egypt, 267-293
- ZWAAN C., 1985. The emergence of magnetic Flux. *Solar Phys.*, 100: 397-414.



**Políticas nacionales y sectoriales de  
prevención, mitigación, rehabilitación o  
adaptación a los cambios globales.**





# GESTIÓN DEL RIESGO Y DINÁMICA DEL CLIMA EN GRANDES CIUDADES: EL CASO DE BUENOS AIRES

*Risk management and climate dynamics in big cities: the case of Buenos Aires*

Silvia Graciela González<sup>1\*</sup>; Jesús Pablo Damián Bondioni<sup>1</sup> y Claudia Natenzon<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente – PIRNA, Instituto de Geografía, FFyL/UBA, Puán 480 4º piso (1406) CABA

<sup>2</sup>Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales – FLACSO  
sgg@filo.uba.ar

## RESUMEN

Buenos Aires es la ciudad más importante de Argentina: es su distrito federal y el escenario de procesos productivos y decisiones políticas de toda índole; además, es una de las ciudades costeras más grandes del mundo por su dimensión demográfica. Desde el punto de vista del riesgo, está sujeta a peligrosidades ligadas al funcionamiento climático-hídrico, que disparan desastres tales como inundaciones y olas de calor de distinta magnitud y recurrencia. Las variaciones en la dinámica del clima podrían potenciar los efectos negativos de las catástrofes, a la vez que incrementar la susceptibilidad de la infraestructura de servicios, como la hidráulica, y comprometer la respuesta del sistema energético frente a aumentos en la demanda. ¿Está la ciudad preparada para hacer frente a las consecuencias de los cambios pronosticados hacia el futuro en la dinámica del clima? Nuestras investigaciones enfocan a responder dicha pregunta, colocando una atención especial al estado de las redes de infraestructura hidráulica, a la situación de la demanda energética y a las iniciativas en materia de gestión de riesgos. Se pretende plantear y caracterizar la problemática actual como paso previo necesario a la toma de decisiones actuales con incidencia tanto en el presente como a futuro.

**Palabras clave:** gestión del riesgo, dinámica del clima, inundaciones, olas de calor, red hidráulica, demanda energía eléctrica, cambio climático, variabilidad climática

## SUMMARY

Buenos Aires is the most important city of Argentina: it is the Federal District and the scenario of productive processes and political decisions of all kind; plus, it is one of the biggest coastal cities worldwide due to its demographic dimension. From the point of view of risk construction, there are hydro-climatic related hazards which cause disasters such as floods and heat waves of different magnitude and recurrence. Variations in climate dynamics could amplify the negative effects of the disasters as well as increase the susceptibility of the infrastructure, such as the hydraulic one, and compromise the response of the energetic supply facing increases in the demand. ¿Is the city prepared to face the possible consequences of the projected changes in climate dynamics? Our researches aim to answer this question, focusing on the state of the hydraulic infrastructure, on the energetic demand situation and on the projects on risk management. In this paper, we pose and characterize the current issues as a previous necessary step to contribute to the decision making both in current and in future times.

**Key words:** risk management, climate dynamics, floods, heat waves, hydraulic network, electric energy demand, climate change, climatic variability

## **INTRODUCCIÓN**

Buenos Aires, capital nacional y principal aglomerado urbano de Argentina está sometida, desde su misma fundación, a la dinámica del sistema natural que ha servido de sostén de su progresiva y permanente expansión urbana. Desde el punto de vista climático-hídrico, la ciudad se construyó sobre los valles de inundación de varios pequeños arroyos que fueron convenientemente rellenados u ocultados pero que sin embargo se mantienen como elementos disparadores de inundaciones. Por otra parte, Buenos Aires afecta, como toda gran ciudad, el clima local y, particularmente, la temperatura: son conocidos los efectos de la urbanización en la formación de los fenómenos de islas de calor o de su incidencia en la aparición de olas de calor.

Inundaciones y olas de calor han provocado desastres de diferente magnitud en la ciudad, la cual llegó a ver seriamente comprometido su funcionamiento cotidiano como resultado del anegamiento de calles, viviendas y comercios, el corte del suministro eléctrico y otros problemas relacionados, como la paralización de los servicios de transporte público o los cortes en el servicio de agua potable. En estas situaciones críticas mucho tiene que ver la forma en que se ha gestionado el riesgo en la ciudad tanto en lo que hace a la mitigación de inundaciones como a las acciones tendientes a satisfacer los aumentos de la demanda de energía eléctrica.

La variabilidad climática actual y el cambio climático futuro –en fin, la dinámica del clima- plantean un gran desafío frente a este escenario de alta exposición y vulnerabilidad en la ciudad más importante del país, que debe ser caracterizado y analizado a fin de lograr comprenderlo y, en definitiva, hacer aportes concretos a la toma de decisión ligada a estos fenómenos. El trabajo que se presenta a continuación apunta a resolver la primera cuestión, esto es, el planteamiento y la caracterización preliminar de las inundaciones, las olas de calor y cuestiones clave a ellas asociadas en la Ciudad de Buenos Aires, a fin de lograr, hacia el futuro, los avances necesarios para aportar al análisis y la resolución de la problemática.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

La Ciudad de Buenos Aires es el área central de un aglomerado de más de 12000000 de habitantes (INDEC, 2004), donde se concentran dinámicas productivas, económicas y de toma de decisión política de alto nivel, todo lo cual explica la importancia de la ciudad metropolitana en el contexto del país y aún de la región. Desde el punto de vista de su sitio geográfico y de las particularidades de su sostén natural, se trata de un área urbana costera donde la dinámica climático-hídrica puede manifestarse como peligrosidad en inundaciones recurrentes –de aparición variable a lo largo del año- y en olas de calor –más frecuentes en el verano-, entre otras.

En el caso de las inundaciones, se identifican dos grandes mecanismos que disparan la peligrosidad: la ocurrencia de lluvias de alta intensidad –de origen convectivo, frontal y, en algunos casos, como resultado de la formación de complejos convectivos de mesoescala- y las crecidas del río de la Plata, ya sea por sudestada o por el ingreso de ondas oceánicas al estuario. En el caso de las tormentas, el mayor efecto negativo se asocia a la traza de los antiguos arroyos canalizados (Medrano, White, Vega, Maldonado, Ugarteche, Cildáñez) y sus áreas de influencia; ejemplos recientes de inundaciones disparadas por este tipo de procesos son las producidas el 31 de mayo de 1985 (la de mayor magnitud registrada hasta el momento para Villa Ortúzar: 308 mm) y el 24 de enero de 2001 (la de mayor intensidad también para la misma estación: 96





causaron fuertes impactos sobre la salud de la población y sobre la provisión de servicio eléctrico, lo que a su vez causó otros efectos indirectos (corte de servicios de subterráneos, falta de agua, etc.).

Las variaciones observadas en la dinámica del clima se manifiestan en la Ciudad y su área metropolitana en un aumento sostenido de la temperatura media anual desde la década de 1990, a razón de 0.2° C por década. Para el caso de las temperaturas medias máximas, importantes para determinar la incidencia de olas de calor, se señala que se produjo un aumento del orden de 0.8 °C en los últimos 100 años (Camilloni, 2008). Los escenarios climáticos a futuro prevén, además, un calentamiento del orden de 0,5° C hacia la década de 2020, conjuntamente con una elevación de las temperaturas medias de los meses más cálidos (intensificadas en la Ciudad debido al fenómeno de “islas de calor”) y un aumento de la magnitud, duración y recurrencia de olas de calor.

El monto medio anual de precipitaciones también aumentó desde 1960, en un promedio de 22.8 mm por década (Camilloni, op. cit.); por otro lado, la misma autora registra un aumento en la frecuencia de las tormentas intensas, consistente con otros análisis, si bien no existiría evidencia que esté en aumento la cantidad de lluvia caída durante las tormentas (Halcrow *et al.*, 2004). Como ejemplo de lo comentado baste señalar que prácticamente se duplicaron los eventos de precipitaciones por encima de 100 mm en 24 horas entre 1911-1970 y 1980-2000 (Mehrotra, 2009).

Las variaciones climáticas también han tenido sus efectos sobre el río de la Plata, que aumentó su nivel medio en un promedio de 1.7 mm por año a lo largo del siglo XX (Menéndez *et al.*, 2004). De continuar esta tendencia, las inundaciones por crecida del estuario serán más frecuentes e intensas; además, se potenciarán efectos secundarios como la erosión sobre la costa (Camilloni y Barros, 2008).

### **Encuadre conceptual**

La búsqueda de una respuesta a la pregunta que guía este trabajo se encuadra en el abordaje de la cuestión del riesgo y sus vinculaciones con la dinámica del clima. Desde una perspectiva social, la noción de riesgo descansa sobre la centralidad de la *responsabilidad* de los actores en sus actos (Giddens, 1990, 2000) para explicar las situaciones emergentes como desastres o catástrofes. El riesgo, en tanto contexto no deseado o condición latente que capta posibilidad de pérdidas en el futuro (Lavell, 2002) es fruto, a su vez, de un proceso de construcción social que se gesta con cada decisión en el cotidiano. Por lo tanto, se entiende que toda acción o decisión que se tome en la gestión de la ciudad de Buenos Aires contribuirá en mayor o menor medida a construir el riesgo, tanto disparado por fenómenos naturales (como los que aquí se analizan) como por procesos de origen tecnológico.

Una forma de analizar el riesgo es descomponer la noción en cuatro dimensiones analíticas propuestas por Natenzon (1995, 2002) y retomadas en los trabajos del Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente (PIRNA) del Instituto de Geografía, FFyL/UBA. Tales dimensiones son: la *peligrosidad*, o potencial de daño implicado en procesos de la naturaleza o aquellos derivados de su manipulación; la *vulnerabilidad*, o condiciones sociales, institucionales y culturales de un grupo social enfrentado a una peligrosidad dada; la *exposición*, o materialización en el territorio de la interacción entre las dos primeras; e *incertidumbre*, que representa lo no conocido, lo que no responder el análisis del resto de las dimensiones pero que sin embargo debe hacerse explícito a fin de atender problemas de resolución urgente. Como puede observarse, este abordaje analítico da cuenta de: a) la complejidad del problema a abordar y b) de la necesidad de un enfoque interdisciplinario (González *et al.*, 2007) que

responda a la multiplicidad de miradas posibles sobre la problemática, todas válidas y concurrentes a explicar las situaciones de riesgo.

Esta propuesta de análisis ha sido el marco utilizado por el PIRNA para abordar la cuestión del cambio climático, que es, además, uno de los problemas clave de la sociedad moderna, rebautizada por Beck (2008) como la sociedad del riesgo mundial. En tal sentido y dada la discusión existente sobre los conceptos de cambio y variabilidad climática, optamos trabajar con *dinámica del clima*, noción que coloca el foco en el proceso y en el *tiempo*, factor clave para diferenciar cambio de variabilidad (Baethgen, 2006) y para captar la contradicción que se plantea entre la formulación científica de escenarios climáticos futuros a largo plazo (con todas las incertidumbres técnicas a ellos asociadas) y la necesidad social y política de dar respuesta a corto y mediano plazo a problemas derivados de la concreción de los procesos climáticos en tanto peligrosidad *actual*.

Los cambios pronosticados en la *dinámica del clima* a futuro –ya sea por cambio o por variabilidad en los parámetros climáticos principales- actúan como factores de *amplificación* de las peligrosidades de origen climático e hídrico; este concepto, formulado inicialmente como “amplificación social del riesgo” (Kasperson, 2002; Renn, 2008), refiere a la incidencia de factores de índole social, política o económica “externos” a la peligrosidad, que hacen que su concreción en tanto desastre produzca consecuencias más severas. En este caso, las variaciones climáticas no son externas a la dinámica natural pero sí incidirían de modo tal de “normalizar” los eventos extraordinarios (aquellos “más raros”) o de potenciar las consecuencias catastróficas de eventos “normales”. A ello deben sumarse como factores amplificadores, otras cuestiones que hacen al soporte de infraestructura de la Ciudad de Buenos Aires y a las decisiones sobre ella, tal como se discutirá en el apartado siguiente.

Frente a una configuración de riesgos cada vez más compleja -y mucho más aún en el caso de grandes metrópolis- donde se superponen y se recrean peligrosidades y vulnerabilidades, se vuelve una necesidad no sólo analizar los procesos que llevan a la construcción de tales riesgos, sino también buscar mecanismos tendientes a gestionarlos. Una revisión bibliográfica sobre el particular permite concluir que la *gestión del riesgo* es un proceso social complejo que involucra actores sociales múltiples y exige una toma de decisión informada sobre opciones posibles, estableciendo niveles aceptables de riesgo y reconociendo las incertidumbres (González, 2009; Lavell, 2002; Lavell, 2003; López Cerezo y Luján López, 2000) que emergen de problemas de comensurabilidad difícil y con efectos sinérgicos a largo plazo, como son aquellos que devienen de la dinámica del clima. Si se parte de entender que el riesgo se construye en un proceso continuo que tiene una materialización territorial, la gestión del riesgo necesariamente deberá estar integrada en las decisiones que se tomen en la gestión del territorio.

A continuación se discute la aplicación de estos conceptos al caso de la Ciudad de Buenos Aires, analizando particularmente lo concerniente a la gestión de riesgos asociados a la dinámica del clima y al rol de la infraestructura hidráulica y la provisión de energía eléctrica, entendidas como medidas de mitigación de inundaciones actuales y futuras (red pluvial) y como sostén de actividades múltiples de la ciudad (energía) que debería responder frente a la potenciación de los efectos de olas de calor. En el primer caso se exponen brevemente los resultados de una investigación desarrollada hasta el momento, mientras que en el segundo se presenta el planteo del problema a ser abordado en un trabajo de investigación próximo a iniciarse.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Las inundaciones, la red pluvial y la gestión del riesgo**

Puede afirmarse que la provisión de desagües pluviales fue la principal medida de mitigación de inundaciones en la Ciudad hasta el 2009 (año en el que está comenzando a ejecutarse el proyecto de alivio al arroyo Maldonado). Diseñada en 1919 y construida entre las décadas de 1920 y 1950, el objetivo de la red pluvial no era solamente atacar el problema de la inundación, sino además lograr el saneamiento de las áreas que aún carecían de infraestructura básica (el núcleo central de la Ciudad o “Radio Antiguo”, más consolidado desde el punto de vista urbano, ya contaba en aquella época con desagües pluvio-cloacales). Para las obras del llamado Radio Nuevo se aprovechó el diseño hidrológico natural: los arroyos que surcaban Buenos Aires se convirtieron así en los conductos principales que recogen, a través de un intrincado sistema hidráulico, el agua de lluvia que cae sobre sus respectivas cuencas.

Hacia fines del siglo XX la red pluvial comenzó a mostrar signos de obsolescencia, en parte por el crecimiento urbano de los partidos metropolitanos, que superaron las previsiones hechas al momento de construir los pluviales, en parte por el deficiente mantenimiento de la red y en parte por la conjunción de decisiones tomadas sobre el territorio de la Ciudad que llevaron a la redensificación de las áreas sujetas a peligrosidad hídrica. La ya mencionada inundación del 31 de mayo de 1985 colocó en escena todos estos problemas y desnudó, al mismo tiempo, los altos niveles de vulnerabilidad institucional existente en relación al manejo de la inundación, que no hicieron otra cosa que amplificar las consecuencias de la lluvia. A partir de dicho desastre, que de alguna forma “redescubrió” la existencia de los arroyos canalizados, olvidados bajo el asfalto (González, 2005, 2009), se comenzaron a plantear diversos proyectos de mitigación, todos ellos enfocados a la solución hidráulica, ya sea por medio de la mejora en los coeficientes de escorrentía (obras de alivio a los canales principales de las cuencas urbanizadas), por medio de la retención (los llamados “reservorios”) o bien por una combinación de ambos. Sin embargo, estos planes solo pudieron llevarse a cabo en forma parcial (como por ejemplo, el reemplazo de las columnas por tabiques en el emisario principal del Maldonado), por lo que la gestión del riesgo por inundaciones permaneció, como hasta entonces, sesgada hacia la respuesta como momento privilegiado de intervención (González, 2005).

En 2004, la formulación del Plan Maestro de Ordenamiento Hidráulico (luego de la inundación catastrófica de enero de 2001) introdujo la novedad de medidas no estructurales, tales como la implementación de un sistema de alerta temprana o la compatibilidad entre los usos del suelo y el mapa de peligrosidad hídrica, acompañando las obras de ingeniería. En el análisis de base para el diseño de obra, este Plan no considera concluyente que se esté registrando un aumento en la cantidad de tormentas intensas, si bien la tendencia positiva es “digna de notar” (Halcrow *et al.*, op. cit.). Tampoco existen evidencias de la consideración del aumento registrado en el nivel medio del río de la Plata hasta el momento, lo cual es llamativo dado el diseño propuesto para las obras, sobre todo en el caso del emisario principal del Maldonado (obra en túnel con descarga mediante bombeo en el río de la Plata) y la influencia del estuario en el funcionamiento hidráulico de las canalizaciones.

Por otra parte, es necesario señalar que las obras que se iniciaron recientemente están siendo puestas en tela de juicio por organizaciones de la sociedad civil, profesionales y legisladores de la Ciudad que cuestionan la real dimensión del impacto ambiental y específicamente la potencial afectación del Puelche. Esta cuestión no es menor en el

análisis, pues señala la complejidad del problema y de las propuestas de mitigación, también impregnadas de incertidumbre.

Es justamente la alta incidencia de la incertidumbre técnica el rasgo central en la historia del manejo de las inundaciones en Buenos Aires. Manifestaciones de incertidumbre tales como la discusión sobre soluciones posibles o la falta de conocimiento acabado del funcionamiento del sistema climático-hídrico, quedaron soslayadas bajo la toma de decisión política ligada al problema. A esta situación se suma ahora los interrogantes que abren a futuro las variaciones y cambios esperados en la dinámica del clima, cuestión que tampoco parece haber incidido en el planteo de las medidas de mitigación. La resolución de las incertidumbres en el campo político y, a ligado a ello, la alta vulnerabilidad institucional, son las cuestiones claves a resolver para el logro de una gestión del riesgo integral -conjunción de medidas de diferente alcance y tipo- e integrada –a los procesos cotidianos de construcción del territorio urbano-.

### **La dinámica del clima, las olas de calor y la demanda de energía eléctrica**

La energía eléctrica es el principal servicio urbano contemporáneo debido a que se trata de la base de prácticamente todas las actividades de la ciudad. De la energía dependen, entre otros, la iluminación pública, la circulación de trenes y subterráneos, el control de tránsito, el movimiento de máquinas, la prestación de servicios de salud y de educación; como se ve, su provisión es un factor clave del desarrollo de la economía local.

El ciclo de expansión económica comenzado en 2001 conllevó un aumento del consumo de energía eléctrica en la ciudad de Buenos Aires y particularmente durante los meses correspondientes a las estaciones extremas. Es así como el pico máximo se produce en los meses de invierno (Figura 2) como consecuencia, sobre todo, de la mayor necesidad de iluminación artificial (debido a la menor duración de luz solar diaria); el segundo pico se da durante el verano, lo cual se vincula, esencialmente, al uso de equipos de acondicionamiento del aire. Otro factor a tener en cuenta es el referente a los niveles de actividad durante las estaciones mencionadas: mientras que durante los meses invernales la Ciudad se encuentra en pleno desarrollo de las actividades de índole comercial, administrativa, financiera y de servicios en general, en la época estival se observa un menor nivel de actividad debido al receso vacacional.

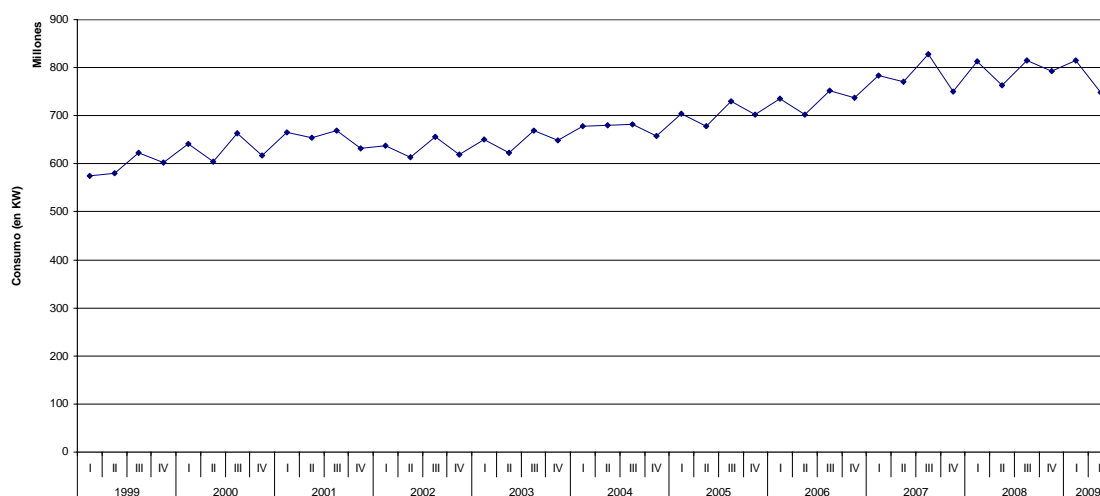


Figura 2. Consumo de energía eléctrica en la ciudad de Buenos Aires

Al analizar la composición de la demanda de energía por sector, se observa que su base se encuentra constituida por los consumos de tipo público e industrial, los cuales varían poco a lo largo del año. Las demandas comerciales y residenciales, por su parte, son las de mayores proporciones y variaciones; en efecto, según datos para 2008, los consumos de tipo comercial concentraron el 39% del total demandado a lo largo del año, con un pico de consumo durante los meses de verano; por otro lado, los de tipo residencial fueron los que acumularon la mayor demanda anual (47% del total), con las mayores necesidades de aprovisionamiento durante los meses de invierno (tercer trimestre).

La temperatura es un factor decisivo para entender las causas del comportamiento de la demanda de energía eléctrica. El fenómeno de “isla de calor”, asociado a la temperatura, es típico de áreas urbanas y provoca inviernos más benignos y veranos más calurosos. Así, en la época estival la población percibe estas variaciones y, ante las elevadas temperaturas se produce un aumento de la demanda de energía eléctrica debido a la “necesidad” de acondicionar los ambientes a temperaturas más “tolerables”, ya sea en hogares como en oficinas. En un análisis comparativo de los consumos de energía eléctrica para el primer trimestre entre 1999 y 2009, se observa un aumento del volumen demandado desde 2002 (Figura 3). Más allá de la tendencia al aumento de la temperatura, la evolución de los consumos de energía es independiente de las variaciones interanuales de temperatura. Las causas para explicar el comportamiento del consumo deberían buscarse entonces en cuestiones contextuales de origen social, económico y político.

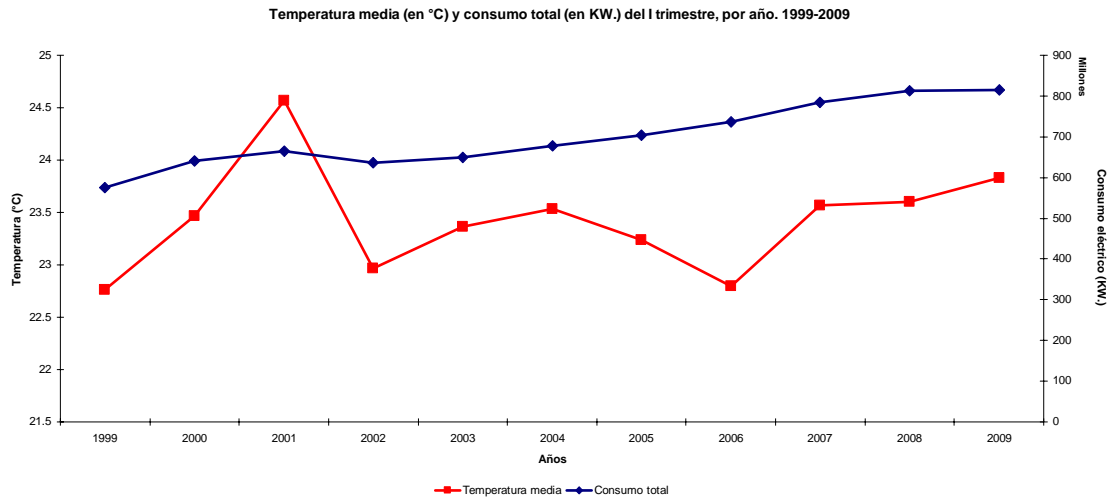


Figura 3. Temperatura media (en °C) y consumo total (en KW.) del I trimestre, por año. 1999-2009.

En época estival también se vuelven frecuentes las olas de calor. Durante estos lapsos de tiempo se alcanzan picos de consumo eléctrico, que muchas veces pueden marcar records de demanda. En los últimos años, dichos eventos han conllevado restricciones en el uso de electricidad a los clientes industriales de la ciudad, en búsqueda de evitar la falta de energía en otros tipos de usuarios, principalmente los residenciales. Esta decisión marca un síntoma de la incapacidad del sistema energético de satisfacer la demanda en momentos de máximos requerimientos.

Los efectos esperados de los cambios pronosticados en las temperaturas a futuro y su incidencia sobre la recurrencia e intensidad de las olas de calor convierten en esperable un escenario caracterizado por la amplificación de la incapacidad de satisfacción de las demandas de energía eléctrica de la ciudad de Buenos Aires, en períodos de intenso calor. Asimismo, dicho escenario debe valorar si las políticas públicas en materia de energía tienen en cuenta los probables impactos de los fenómenos aquí descriptos; como muestra de la situación actual, basta señalar que las empresas que manejan el recurso destinan solo un 12,5% de su inversión al aumento de la producción (INDEC, 2009). En este contexto se convierte en urgente el análisis de la naturaleza de las olas de calor en la Ciudad de Buenos Aires y de cómo el sistema energético se prepara para soportar situaciones de grandes incrementos de la demanda debido a dicho fenómeno natural.

## CONCLUSIONES

¿Serán las inundaciones más catastróficas en el futuro? ¿Será habitual que los porteños sufran cortes del suministro eléctrico los días de mayor calor? Estas preguntas, entre otras posibles, surgen claramente del planteo del problema y del reconocimiento de la alta incidencia de la incertidumbre que emerge tanto del análisis de la ciudad como sistema socio-técnico (Porto *et al.*, 1999) como de las predicciones ligadas al comportamiento climático a futuro.

Además del reconocimiento del papel central de la incertidumbre en la construcción del riesgo de origen climático-hídrico en Buenos Aires, es también claro el rol que tienen las instituciones de gobierno en tal proceso. En tal sentido, el funcionamiento de las redes pluviales o el abastecimiento energético en momentos críticos del año pueden tomarse tanto como factores amplificadores de las peligrosidades naturales existentes o bien como base para la adopción de mecanismos de mitigación y adaptación frente a los cambios pronosticados en la dinámica del clima a futuro. En el caso de las inundaciones, un paso adelante pareciera haberse dado con la puesta en marcha de una parte del Plan Maestro de Ordenamiento Hidráulico, con todas las incertidumbres que ello trae; en el caso de la demanda energética, no aparecen aún medidas de adaptación claras y con cierto grado de efectividad.

En todo caso, deberá tenerse en cuenta que la elección en uno u otro sentido, esto es, amplificación vs. mitigación y adaptación, siempre estará inscrita en el modelo de gestión del riesgo que asuma la Ciudad para sí misma, el que a su vez estará inscripto en un determinado modelo de desarrollo para la sociedad local.

## BIBLIOGRAFÍA

- BAETHGEN, W. 2005. Experiences of the International Research Institute for Climate and Society –IRI. En: *II Regional Conference on Climate Change – South America*. São Paulo.
- BECK, U. 2008. La sociedad del riesgo mundial. En busca de la seguridad perdida. Barcelona, Paidós.
- CAMILLONI, I. 2008. Cambio climático. En: *Atlas Ambiental de Buenos Aires*. Consulta en sitio web: <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar> (agosto 2009).
- CAMILLONI, I. Y V. BARROS. 2008. Clima. En: *Atlas Ambiental de Buenos Aires*. Consulta en sitio web: <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar> (agosto 2009).
- CENTRO, 2009. Argentina. Inventario histórico de desastres. Contribución al proyecto DesInventar. Consulta en línea: <http://online.desinventar.org/> (noviembre 2009).
- GIDDENS, A. 1990. Consecuencias de la modernidad. Barcelona, Alianza Editorial.
- GIDDENS, A. 2000. Un mundo desbocado. Los efectos de la globalización en nuestras vidas. Madrid, Taurus.

- GONZÁLEZ, S. 2005. Ciudad visible vs. ciudad invisible: la gestión del riesgo por inundaciones en la Ciudad de Buenos Aires. En: *Territorios*, 13: 53-67.
- GONZÁLEZ, S. 2009. Ciudad visible vs. ciudad invisible. Gestión urbana y manejo de inundaciones en la baja cuenca del arroyo Maldonado (Ciudad de Buenos Aires). Universidad de Buenos Aires, Tesis de Doctorado en Geografía.
- GONZÁLEZ, S.; CALVO, A.; MECONI, G. y VIAND, J. 2007. "Riesgo, variabilidad y cambio climático. ¿Estamos preparados?", en *Encrucijadas. La revista de la UBA*, 41: 19-22.
- HALCROW; HARZA; IATASA Y LATINOCONSULT, 2004. Proyecto Ejecutivo para la Cuenca del arroyo Maldonado. Desarrollo Ejecutivo. *Informe final. Memoria Técnica*. Buenos Aires.
- INDEC, 2004. Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2001. Buenos Aires, Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- INDEC, 2009. Indicador Sintético de Energía. Buenos Aires, Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- KASPERSON, R. 2002. The social amplification of risk: progress in developing an integrative framework. En: Krinsky, S. & D. Holding –ed.-, *Social theories of risk*. London, Praeger; pp.153-178.
- LAVELL, A. 2002. Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. Disponible en: <http://www.desenredando.org>
- LAVELL, A. 2003. La gestión local del riesgo. Nociones y precisiones en torno a la teoría y la práctica. Guatemala, CEPREDENAC-PNUD.
- LÓPEZ CERREZO, J. y LUJÁN LÓPEZ, J. 2000. Ciencia y política del riesgo. Madrid, Alianza Editorial.
- MEHROTRA, S.; NATENZON, C. E.; OMOJOLA, A.; FOLORUNSHO, R.; GILBRIDE, J. and ROSENZWEIG, C. 2009. Framework for City Climate Risk, Assessment. Buenos Aires, Delhi, Lagos, and New York. In: Commissioned Research. *Fifth Urban Research Symposium Cities and Climate Change: Responding to an Urgent Agenda*. Marseille, France, World Bank; 80 p.
- MENÉNDEZ, A.; RE, M. y LUDUEÑA, S. 2004. Mapas de riesgo de inundaciones de una zona costera considerando el cambio climático. *XII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. São Carlos, Estado do São Paulo, Brasil. Disponible en: [http://laboratorios.fi.uba.ar/lmm/congresos/cc\\_rdplata\\_riesgo\\_latino\\_oct04.pdf](http://laboratorios.fi.uba.ar/lmm/congresos/cc_rdplata_riesgo_latino_oct04.pdf)
- NATENZON, C. 1995. Catástrofes naturales, riesgo e incertidumbre. Buenos Aires, FLACSO, Serie de Documentos e Informes de Investigación N° 197.
- NATENZON, C. 2002. Vulnerabilidad, incertidumbre y planificación participativa de desastres: el caso de las inundaciones catastróficas en Argentina. En: Firpo de Souza Porto, M. F. S. y C. M. de Freitas, C., *Problemas ambientais e vulnerabilidade: abordagens integradoras para o campo da Saúde Pública*. Rio de Janeiro, CESTEH; pp. 57-78.
- NORTE, F.; SELUCCI, M.; GÓMEZ, J. y SIMONELLI, S. 2007. Análisis de una ola de calor extrema en la región subtropical de América del Sur. *Revista Brasileña de Meteorología*, 22 (3).
- PORTO, M. F. S.; MACHADO, J. M. H. y DE FREITAS, C. M. 1999. Perspectivas para una análise interdisciplinar e participativa de acidentes (AIPA) no contexto da indústria de processo. En: Porto, M. F. S. y C. M. de Freitas: *Acidentes químicos ampliados: desafios e perspectivas*. Rio de Janeiro, Editora Fiocruz.
- RENN, O. 2008. Risk governance. Coping with uncertainty in a complex world. London, Earthscan.



# ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y BIENESTAR HUMANO EN LA CIUDAD DE ZÁRATE

*Land Management and Human Welfare in the City of Zárate.*

**Edgardo Ariel Peveri y Liliana Mabel Marinelli**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta,  
San Martín 1171 (2804) – Campana – Buenos Aires  
epeveri@frd.utn.edu.ar

## RESUMEN

Las políticas de radicación no se encuentran definidas por un proyecto de crecimiento sostenido, más aún cuando muchos de estos emplazamientos surgen solamente de las pocas posibilidades que tienen ciertos sectores de conseguir vivienda, instalándose en lugares no aptos para tal fin. Algunas soluciones a la situación habitacional, podrían resolver la problemática del momento, pero, indefectiblemente, a largo plazo, presentan inconvenientes en el suministro de los servicios básicos que garanticen un hábitat acorde a un futuro próspero.

El deterioro del ambiente y los efectos dañinos sobre la salud, ante una arbitraria distribución demográfica de la ciudad de Zárate, no suelen ser consideradas al hablar de bienestar humano. En los últimos años hemos visto cómo el desarrollo industrial y los nuevos asentamientos modificaron sus características urbanas.

En este trabajo se pretende ofrecer una descripción del estado actual de ese crecimiento poblacional y su distribución territorial, así como de las características que presentan y su impacto sobre el medio ambiente.

**Palabras clave:** asentamientos, impacto ambiental, contaminación.

## SUMMARY

Policies for establishment are not defined by a project of sustained growth. Even so, many of these sites arise only from the limited possibilities for achieving certain sectors of housing and are located in places not fit for that purpose. Some solutions to the housing situation solve the problems of the moment, but there are long-term drawbacks of providing basic services that would ensure a habitat resulting in a prosperous future. The deterioration of the environment and the harmful effects on public health due to an unplanned demographic distribution within the city of Zárate, are not considered when talking about human welfare. In recent years we have seen changes in the characteristics of industrial development and new urban settlements. This paper aims to provide a description of the current status of that population growth and territorial distribution, as well as the features present and their impact on the environment.

**Key words:** human settlements, environmental impact, pollution

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo poblacional es una de las causas de impacto ambiental a considerar en toda comunidad. Uno de los retos del desarrollo sustentable es equilibrar las demandas de recursos naturales de la población con el suministro de la naturaleza, y si ésta es

limitada, analizar opciones disponibles. Para conocer las demandas, necesariamente se debe conocer cuál o cómo es la tendencia de ése crecimiento

Las políticas de radicación están referidas por lo general a emprendimientos industriales o de servicios y no se encuentran definidas por un proyecto de crecimiento sostenido y si además consideramos que todo desarrollo productivo conlleva un aumento demográfico la situación pareciera no contemplar una de las variables más importantes de la planificación urbana “El crecimiento de la Población”. Cuando se organiza mal una comunidad se dejan a un lado los problemas que puedan presentarse a futuro para resolver conflictos momentáneos de características urgentes y más aún, cuando muchos de estos emplazamientos surgen solamente de las pocas posibilidades que tienen ciertos sectores por conseguir vivienda, y por ende se ubican espontáneamente en lugares que no les son propios y que muchas veces no son aptos para tal fin.

La situación económica hace que todo este tipo de problemática se vaya agudizando y la permanencia de familias en propiedades y/o terrenos que no les son propios ya no sea transitoria, sino que se convierte en un hecho consolidado por parte de quienes habitan el lugar.

La distribución de la sociedad comienza con planes sociales de viviendas, muchas veces marginales y de construcciones precarias y que resuelven pero solo “emparchando” la problemática del momento, lamentablemente, hemos notado que a largo plazo se van presentando inconvenientes en el suministro de los servicios básicos que garanticen un hábitat adecuado. La falta de diagramación de políticas sociales y urbanas de los sucesivos gobiernos en materia inmobiliaria, generó que la ocupación espontánea de terrenos privados y fiscales sirviera de base para los asentamientos ilegales, informales e irregulares de una masa poblacional importante, observable hasta nuestros días.

Este trabajo pretende describir y aportar conocimiento de la situación actual de estos asentamientos humanos ilegales y esgrimir algunos de los aspectos más relevantes que influyen en el impacto ambiental de la localidad.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Problemáticas del Área de Estudio**

En los últimos años en la Ciudad de Zárate se ha visto como el desarrollo no planificado modificó las características urbanas produciendo deterioro en el ambiente y problemas sociales del partido.

La ciudad se localiza al N. E. de la Provincia de Buenos Aires, recorrida por dos brazos del río Paraná, ubicada a 59° 2' Longitud Oeste y 34° 7' Latitud Sur. El Partido cuenta con dos sectores territoriales claramente diferenciados: un sector Continental que forma parte de la denominada subregión de la Pampa Húmeda, caracterizada por su condición de costa sobre el Río Paraná de las Palmas y otro insular integrante del Delta del Paraná, amplísimo territorio aluvional sometido a inundaciones periódicas. Posee una superficie total de 1202 Km<sup>2</sup> de los cuales el 46 % corresponde al territorio insular. Ubicada en el margen derecho del Río Paraná de las Palmas, presenta como posibilidades en desarrollo urbano hacia su lateral oeste y al sur.

En los primeros años algunas empresas como las papeleras y frigoríficos se instalaron sobre la costa del Río Paraná y hoy se encuentran dentro de la zona urbana. A partir de los últimos años el desarrollo industrial se centralizó en la zona este. Esto implica que el crecimiento de la zona urbana que por los años 70 se había empezado a realizar hacia ese sector comienza a disminuir por la instalación fabril.

Por otro lado, hacia el sudeste limita con la Ciudad de Campana, cuyo emplazamiento urbano ha comenzado su desarrollo, pero las limitaciones de este espacio ya se están notando y en los próximos diez años se verá colapsado.

Con este panorama la única posibilidad de espacio disponible para la ampliación de la población corresponde a la dirección sur.

En los años 40 la Ciudad de Zárate se perfilaba como una zona de crecimiento económico importante. El área rural no presentaba atractivo por su baja rentabilidad, comenzó, de esta forma un movimiento migratorio de hábitat rural hacia esta ciudad, incluyendo a localidades vecinas de Buenos Aires como también de la provincia limítrofe de Entre Ríos. El crecimiento fabril lo dio en gran magnitud el frigorífico “Smithfield”, pero luego su producción cayó al fin de la Segunda Guerra Mundial. Aunque siguió funcionando, su actividad fue muy reducida. En sus alrededores se había formado un asentamiento conocido como La Carbonilla, la cual ocupaba terrenos pertenecientes al ferrocarril General Urquiza. La erradicación de la misma se produjo en los años 80 y fue trasladada al oeste de la Ciudad, ofreciendo viviendas con planes de entrega de materiales y cuya construcción la debían realizar los mismos propietarios, lo que implicó casas mal diseñadas con enormes problemas edilicios que lejos de resolver un problema, generó un barrio con serios inconvenientes en los servicios, en la planificación y en la ubicación.

A fines de los años 90 la radicación de nuevas industrias fomentó nuevamente la llegada de personas provenientes de otras ciudades. La misma se realizó en forma desorganizada e imprevista. El auge industrial de la zona motivo la ocupación de mano de obra especializada, sin embargo, esto también trajo aparejado el arribo de familias de bajos recursos y sin preparación laboral, con la esperanza de una mejora de su situación económica.

Ante la creciente demanda de suelo habitacional y la falta de ofertas del mismo comenzó a observarse un movimiento de éstas familias hacia lugares ubicados en la periferia de la ciudad que contaban con parcelas privadas deshabitadas y propicias para la ocupación ilegal e informal de estos terrenos, justamente debido a que la zonificación no admitía este tipo conglomerados urbanos.

Todos los movimientos de personas de otras regiones por las oportunidades económicas, hizo que el crecimiento poblacional en el Ciudad de Zárate no fuera netamente autóctono, implicando que no se contara con los conocimientos de los detalles básicos del lugar donde se radicaron. La ubicación de estas familias en terrenos marginales y zonas de alto riesgo aparece evidenciado por problemas frecuentes de evacuaciones por inundaciones donde nunca los hubo.

Por la necesidad de encontrar un lote donde asentarse y de un mercado inmobiliario no acorde a sus posibilidades, se desarrollaron varios asentamientos ilegales e irregulares como por ejemplo en campos pertenecientes al área Naval de las Fuerzas Navales, ubicados éstos en zonas bajas e inundables.

En la zona sur, constituida en un principio por habitantes de bajos recursos, pero con casas establecidas en terrenos propios, se empezaron a ocupar espacios que se utilizaban para recreación de la gente del lugar, así las canchas de futbol se fueron reduciendo hasta desaparecer. El retiro del Ferry-Boat origino un nuevo trazado en el trayecto ferroviario a la Mesopotamia y el área de las vías inutilizadas del viejo Ferrocarril Urquiza fueran ocupadas por familias con viviendas precarias conformadas con materiales que encontraban.

En la mayoría de estos asentamientos, el suministro de agua potable es llevado a cabo por los mismos habitantes del lugar que, sin tener en cuenta los criterios específicos y normados para dichas conexiones, se acoplan a los tubos madre provocando

inconvenientes del servicio de agua al resto de la población. La falta de inversión pública en este tema, es un asunto pendiente, que a pesar de que la zona cuenta con una napa de agua abundante y de excelente calidad, las redes de tendido muchas veces colapsan.

El drenaje del agua de lavado de la cocina y la ropa se realiza mediante zanjas al costado de las calles. La falta de pavimento y las calles de tierra sin regar, hacen que los habitantes aplaquen el polvillo regando con el agua de las zanjas. Los elevados niveles de contaminación del agua de estos conductos, es esparcida por toda la calle, Estas zanjas conducen las aguas de deshechos hacia terrenos linderos a los asentamientos, perjudicando otras zonas o áreas públicas y privadas que, contando con una red cloacal, se ven afectadas por olores nauseabundos y riesgos sanitarios.

El servicio de recolección de residuos domiciliarios es un tema pendiente en este tipo de población, ya que la no accesibilidad por el diagramado que presentan o la ilegalidad de su situación, no permite que se les suministre el correcto tratado de los mismos. Prácticamente las familias deposita los residuos generados por ellos mismos en terrenos no aptos, originando micro basurales.

Estos sectores depositarios de basura a cielo abierto, son generadores de microorganismos capaces de desarrollar enfermedades, promueven la presencia de vectores, olores e impactan el suelo con la percolación de los líquidos provenientes de los residuos constituidos por material orgánico, pilas, envases que han contenido insecticidas y pinturas en general. Además, en estos basurales ilegales los residuos son quemados con la finalidad de disminuir su volumen originando emisión de humo cuya pluma impacta en diferentes sectores de la comunidad, a la vez que impacta en un daño voraz a la fertilidad del suelo.

El cirujeo se ha convertido en una actividad común de la que ya nadie se asombra en este tipo de poblaciones y consiste en el acopio informal de todo tipo de elementos descartados por la sociedad: como chatarra, cartones, envases de vidrio y plástico, metales, etc. Esta actividad representa un factor de riesgo sanitario muy importante que, lejos de afectar solamente a los adultos encargados de esta tarea, involucra a los niños que empiezan a sentir a esta actividad como el único medio que les permitirá resolver uno de los principales problemas que enfrentan, “El Hambre”.

### **Aspecto legal**

Hemos notado que las políticas habitacionales que se han aplicado hasta la actualidad se centraron en la regularización de los asentamientos ilegales, pero se ha hecho muy poco en controlar el inicio de estos. Una vez instalados el objetivo principal pasa a ser: cómo integrarlos a la comunidad. Si bien es cierto que la integración social genera mejor calidad de vida en los habitantes de los mismos, no queda claro cuáles son las políticas legales vigentes que prevengan la usurpación de tierras. La instalación irregular, sin duda, es más rápida que cualquier intento de planificación demográfica, y ésta a su vez, ante su delación, aumenta el crecimiento del impacto ambiental.

La ley 8912/77 de Ordenamiento territorial y uso de suelo regula el uso, ocupación, subdivisión y equipamiento del suelo en la Provincia de Buenos Aires, cuyos objetivos fundamentales están explicitados en su Artículo 2 inciso A “...asegurar la preservación y el mejoramiento del medio ambiente, mediante una adecuada organización de las actividades en el espacio”. Esta Ley establece además, que la responsabilidad del ordenamiento territorial recae en el nivel municipal y es obligatorio para cada partido como instrumento sectorial, entendiendo como ordenamiento territorial al proceso de planeamiento físico, conjunto de acciones técnico, política y administrativas para la

realización de estudios, la formulación de propuestas y la adopción de medidas específicas en relación con la organización de un territorio

La regularización de los asentamientos sugiere legalizar su ubicación, y brindarles los servicios necesarios que mejoren su condición lo cual implica tomar decisiones sobre terrenos que están limitados legalmente para su uso o para todo tipo de inserción poblacional.

En tiempos en que la pobreza extrema se transforma en exclusión, cuando las personas y hogares que están en esta situación social y económica carecen de oportunidades para salir de ella, la ubicación de sus viviendas en relación a la ciudad, es un factor que incide en el proceso de avance o retroceso de la misma.

El problema aparece cuando se intenta conocer con mayor detalle las características, estructura, evolución y operación de los asentamientos humanos con mayor pobreza en las ciudades. Este esfuerzo intelectual implica, contar con datos e información sobre las colonias.

### **Exclusión social y segregación espacial**

Esta problemática lejos de disminuir, tiende a aumentar. Se ha observado un notable crecimiento de familias que han encontrado soluciones a su problema habitacional dentro de estos asentamientos. En este ámbito el tema cultural juega un importante papel, tan trascendente como el tema económico, mas aún la influencia cultural se va transmitiendo en las generaciones siguientes. Lo más probable es que en estas condiciones, se genere reproducción de la pobreza, y aún con programas de mejoramiento físico y social e integración, siga siendo un barrio pobre.

En cuanto a la política estatal o de origen comunitario ciertamente existentes, deberíamos diferenciar las formas asistencialistas tradicionales de las acciones generativas que promueven una activa participación y compromiso de los beneficiarios sin perjuicio de incrementar su autonomía.

Algunos de los asentamientos estudiados han sufrido intento de desalojos por parte de las autoridades, donde quedó en evidencia la clara disconformidad que los vecinos de las zonas linderas manifestaron ante el posible crecimiento de la población en los mismos.

Estos barrios no presentan una desocupación masiva pero sí un aumento creciente del empleo informal o precario, limitado por una residencia barrial negativa, así como encontramos una fuerte desocupación entre los jóvenes.

La propia configuración de los asentamientos ilegales lo sitúa en un reverso trágico y paradójico de los barrios cerrados. Aquí lo que prima no es ya una decisión de auto aislamiento de un entorno que se percibe como peligroso, típico de sectores de clase alta, contrariamente, el barrio se presenta diferenciado urbanísticamente como reflejo de su propia historia de apartamiento.

Si en un primer extremo de la sociedad encontramos una refinada arquitectura de la seguridad como refugio ante los efectos de la exclusión circundante. En zonas como los barrios villa irrumpen los remiendos de una arquitectura precaria que se debate entre la inseguridad, la exclusión y el rechazo.

La ruptura de lazos que ligaban al asentamiento con su exterior, dada la segregación urbanística y social, le da al lugar características de fuerte o refugio.

Los inmigrantes ilegales no sólo no cuentan con garantías que expresan aquellos umbrales, sino que lo jurídico actúa no ya como freno, sino como catalizador de la explotación. Por su parte la policía excede un papel represivo ante la transgresión efectiva del marco normativo y explota económicamente esta vulnerabilidad. Cuando más pobres son, más rechazados son y más probablemente tienden a convertirse en

ilegales. Ahora aparece el ilegal trabajando en negro, en condiciones a veces de esclavitud, apropiaciones ocasionales del salario prometido, que en todos los casos es inferior a los a los mínimos pagados a los nativos.

## **CONCLUSIONES**

Se han determinado los puntos principales de asentamientos ilegales e informales y la manera en que los patrones de conducta social de estos sectores les permiten subsistir en un mundo en desarrollo permanente y veloz. La ciudad de Zárate, enfrenta serios problemas de radicación poblacional ilegal por usurpación de tierras fiscales y privadas que son parte fundamental de una cadena de impactos a la salud y al medio ambiente. La elevada fragilidad sanitaria de estos sectores, los convierte en los más vulnerables y propensos a enfermedades.

Es imperioso contar con un plan de radicación que comprenda las necesidades habitacionales de estos grupos sociales en un marco de ideas claras que definan un objetivo de organización y acciones a seguir a largo plazo.

Los hechos políticos y sociales ocurridos en los últimos años deben servir para enfrentar en forma inmediata y responsable, un programa que amortigüe las debacles económicas que obligan a un amplio sector poblacional ubicarse en lugares que no les son propios y que los ubica en un nivel de alto riesgo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Licenciada Alicia De Leon y al Ingeniero Patricio Cullen por su apoyo permanente e incondicional.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BANCO MUNDIAL: Informe sobre Desarrollo Mundial (1994,1995)
- BIROCCO, C y CACCIATORE, L. 2007. Contaminación en el Riachuelo. Revista Ciencia Hoy Volumen 17 Número 101. ISSN 0327-1218
- BROWN, L. R. 1994. State of the World.
- CORTES CONDE, R. La Economía Argentina en el Largo Plazo, Sudamericana. Universidad de San Andrés.
- FERRER, A. 1996. Historia de la Globalización. Fondo de Cultura Económica.
- JOBAGY, E; NOSETTO, M; PARUELO, J. y PIÑEIRO, G. 2006. Agua y Forestaciones. Revista Ciencia Hoy Volumen 16 Número 95. ISSN 0327-1218.
- LUNA, F. 1994. Breve Historia de los Argentinos, Ed. Planeta.
- NUÑEZ, M. 2006. El Cambio Climático. Revista Ciencia Hoy Volumen 16 Número 96. ISSN 0327-1218.
- UNESCO: El correo: Agua escasa, agua cara. Febrero 1999.
- MEADOWS, D. and RANDERS, J. 1993. Más allá de los límites del crecimiento, ed. Aguilar, El Pais.
- PANADERO MOYA, M. Urbanización y Desarrollo Territorial en América Latina en el contexto de la crisis de los 80. Revista Interamericana de planificación, Volumen 22 Número 87-88, S.I.A.P., 30-42 pp.
- TOCQUEVILLE, A. 1980. La democracia en América. Ed. Alianza.
- TYLLER MILLER, G. 1994. Ecología y Medio Ambiente, Grupo Editorial Iberoamericano.

# CERO FÓSILES EN 2050. TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN ARGENTINA: EL ROL DE LAS FUENTES RENOVABLES.

*Zero Fossils by 2050. Energy transition in Argentina:  
the role of renewable energy sources.*

**Roque Pedace**

Maestría en Política y Gestión de la C&T-UBA,  
Facultad de Farmacia y Bioquímica. Junín 954, Buenos Aires.  
roque.pedace@gmail.com

## RESUMEN

Se analiza la contribución de distintas fuentes renovables de energía para escenarios de restricción climática. Para un presupuesto global de 750 GT de CO<sub>2</sub> entre 2000 y 2050 se supone una trayectoria en Argentina tal que las emisiones llegarán a un máximo antes del 2020 y a cero en 2050. Todas las fuentes analizadas tienen un potencial energético mayor que el demandado al final del período considerado. La energía eólica es la opción más competitiva y de mayor potencial en el corto plazo, dependiendo su penetración de la diversificación geográfica. La bioenergía compite con otros usos por recursos como tierra y agua, siendo el potencial de biogás considerablemente mayor que el de los biocombustibles líquidos. La energía solar tiene el mayor potencial para servir usos finales de modo descentralizado.

Es posible con las tecnologías presentes realizar la sustitución completa de los fósiles. No se requiere H<sub>2</sub> como vector ni aumentar el almacenamiento centralizado de modo sustancial. Las decisiones clave en la transición incluyen: usos de la infraestructura de transporte de gas y electricidad para absorber intermitencias, tanto a nivel nacional como regional, de las distintas fuentes; optimizar el balance entre la tendencia a la descentralización y el uso de la infraestructura energética centralizada; definir la competencia en el sector transporte entre la electrificación y vectores bioenergéticos gaseosos y líquidos.

**Palabras clave:** prospectiva tecnológica, retrodicción, energías renovables, escenarios de cambio climático.

## SUMMARY

We analyze the contribution of different renewable energy sources to energy scenarios with climatic constraints. Under a 750 GT CO<sub>2</sub> global budget (between 2000 and 2050), Argentina is supposed to follow an emission pathway peaking before 2020 and reaching zero by 2050. All of the sources analyzed could function as backstop technologies. Wind energy shows the biggest potential and is the most competitive in the short term, with its penetration depending on geographic diversification. Bioenergy competes for land and water with alternative uses, with biogas prospectively being considerably more important than liquid biofuels. Solar energy, both PV and thermal, give the highest potential for maximizing decentralized final uses.

We conclude that it is possible with current technologies to completely phase out fossil fuels by 2050. Neither H<sub>2</sub> as an energy carrier nor dramatically increased centralized storage is needed. Key options to be defined during the transition are: integration of different renewable sources to smooth out intermittence, both at national and regional

level; balance between use of centralized energy infrastructure, mainly dams and natural gas pipelines, and increased decentralization; and competition in transport between electrification, biogas and liquid biofuels

**Key words:** technology forecasting, backcasting, renewable energy, climate change scenarios.

## INTRODUCCIÓN

El avance del conocimiento científico sobre el Cambio Climático a nivel global, desde la adopción del Protocolo de Kyoto en 1997, ha confirmado que los impactos esperables están afectados por varias incertidumbres que no son fácilmente reductibles, e.g. la determinación de la sensibilidad del sistema a la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI), la posibilidad de cambios abruptos irreversibles, la cuantificación en términos económicos de estos impactos y de la mitigación de los mismos.

Por otro lado, los datos observacionales y los estudios recientes confirman las previsiones más extremas hacia el calentamiento y algunos de sus impactos, incluyendo la realimentación positiva del proceso. Por tal razón, se ha fortalecido el argumento en favor de la aplicación del principio de precaución y, por tanto, la necesidad de disminuir las emisiones globales de GEI en el menor tiempo posible a fin de evitar escenarios de daños irreversibles. Esto se refleja en la aceptación creciente de la imposibilidad de compensar económicamente estas pérdidas. En consecuencia, los análisis de costes y beneficios de las medidas de mitigación versus aquellos de la adaptación tienden a ser desplazados en favor de la adopción de abordajes que maximicen la seguridad, aceptando el riesgo de que los costes no se revelen como los mínimos posibles *ex post*.

Desde la publicación del Cuarto Informe del Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático se han publicado varios trabajos que apuntan a mantener el sistema climático en límites tolerables de acuerdo con una serie de criterios cuantitativos, e.g. concentración de CO<sub>2</sub> (Hansen *et al.*, 2008; Schellnhuber, 2008; Ackerman *et al.*, 2009; Allen *et al.*, 2009; Baer *et al.*, 2009; Rokstrom *et al.*, 2009). Lo que tienen en común es que plantean la necesidad de aplicar el mayor esfuerzo de reducción de las emisiones globales de GEI en las próximas décadas de modo tal que la transición a un sistema energético libre de combustibles fósiles estaría en lo esencial completada entre el 2030 y el 2040. Este es un dato de gran relevancia para la planificación ya que la mayor parte de los estudios econométricos sobre la sustitución de tecnologías energéticas se concentra en el horizonte 2030 (Ackerman *et al.*, 2009).

En la Figura 1 se muestra la trayectoria o “sendero” que tendrían las emisiones globales bajo una restricción de 750 GT de CO<sub>2</sub>. Obsérvese que la proyección tendencial retoma la tendencia creciente luego de la caída en la recesión 2008-2009, mientras que para alcanzar las 350 ppm de CO<sub>2</sub> se requiere una inmediata caída. Un escenario que limita el calentamiento a 2 °C con buenas probabilidades, (Meinshausen *et al.*, 2009) sigue una trayectoria similar, a diferencia del propuesto por los países económicamente más poderosos del G8, tal como se indica en la Figura 2.



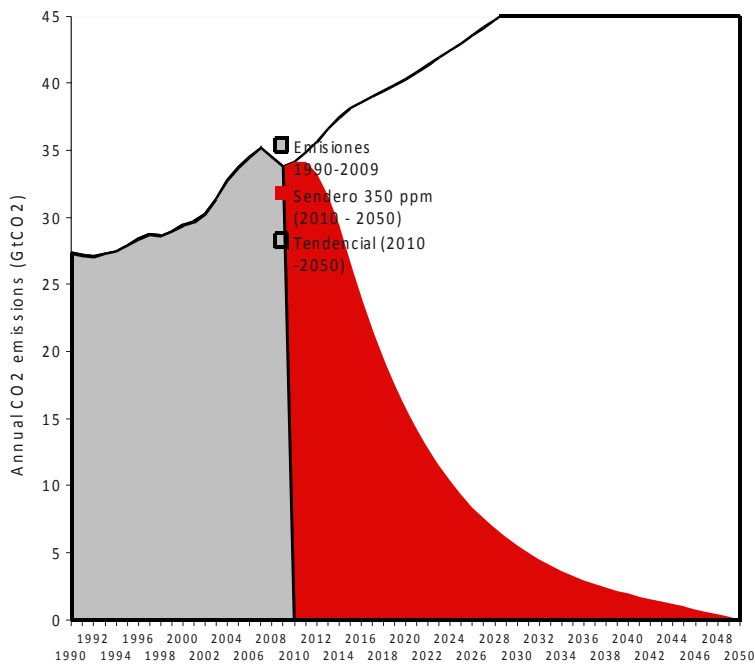


Figura 1. Emisiones globales de CO<sub>2</sub> en GT. El área gris corresponde a las emisiones medidas y calculadas hasta 2009. El área en rojo corresponde a las emisiones del Sendero de 350 ppm de CO<sub>2</sub>. La curva dibujada en negro corresponde a las emisiones de un escenario tendencial a partir de 2010. (Baer *et al.*, 2009).

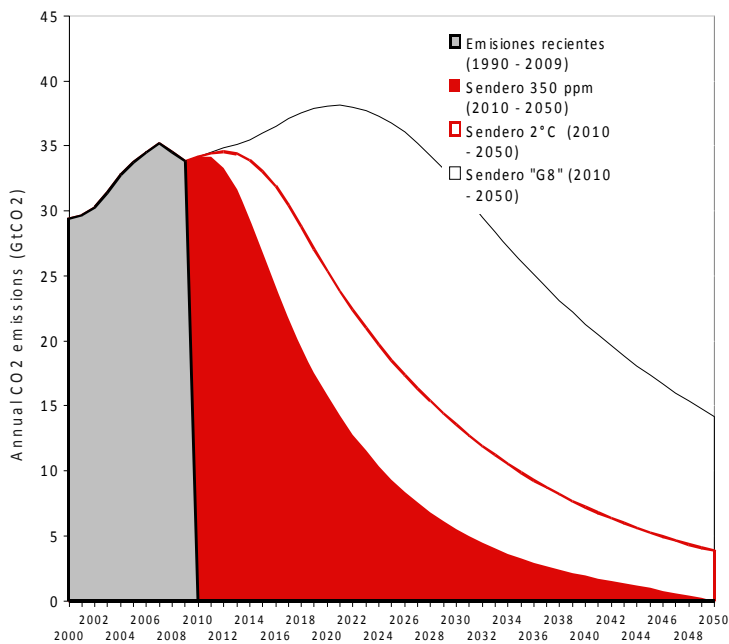


Figura 2. Comparación de tres senderos de emisiones anuales: el de 350 ppm (ver Figura 1), el 2°C de Meinshausen y el calculado a partir de los compromisos del G8. Obsérvese que aunque la transición ocurre con un retardo considerable y creciente entre los dos primeros, ambos llegan al 50% de las emisiones de 1990 antes de 2030, mientras que el G8 lo hace en 2050. Adaptado de Baer *et al.*, 2009.

En la Tabla 1 se comparan los senderos 350 ppm y 2 °C, cuyos puntos de inflexión (máximos de la tasa de reducción) ocurren poco después del máximo, en 2016 y 2020, respectivamente.

Tabla 1. Comparación de los dos senderos de alta restricción presupuestaria de la Figura 2. Baer *et al.*, (2009).

	Sendero 350 ppm	Sendero 2°C
Presupuesto acumulado de CO2 t (2000 a 2050)	750 GtCO2	1000 GtCO2
CO2 restante ( 2010 a 2050)	420 GtCO2	670 GtCO2
Año en que se alcanza el Máximo de emisiones	2011	2013
Máximo expresado en % por encima del nivel en 1990	25 %	27 %
Tiempo desde el máximo hasta el máximo de decrecimiento	5 años	7 años
Emisiones 2020 como % bajo 1990	- 42 %	- 7 %
Emisiones 2050 como % bajo 1990	- 100 %	- 86 %

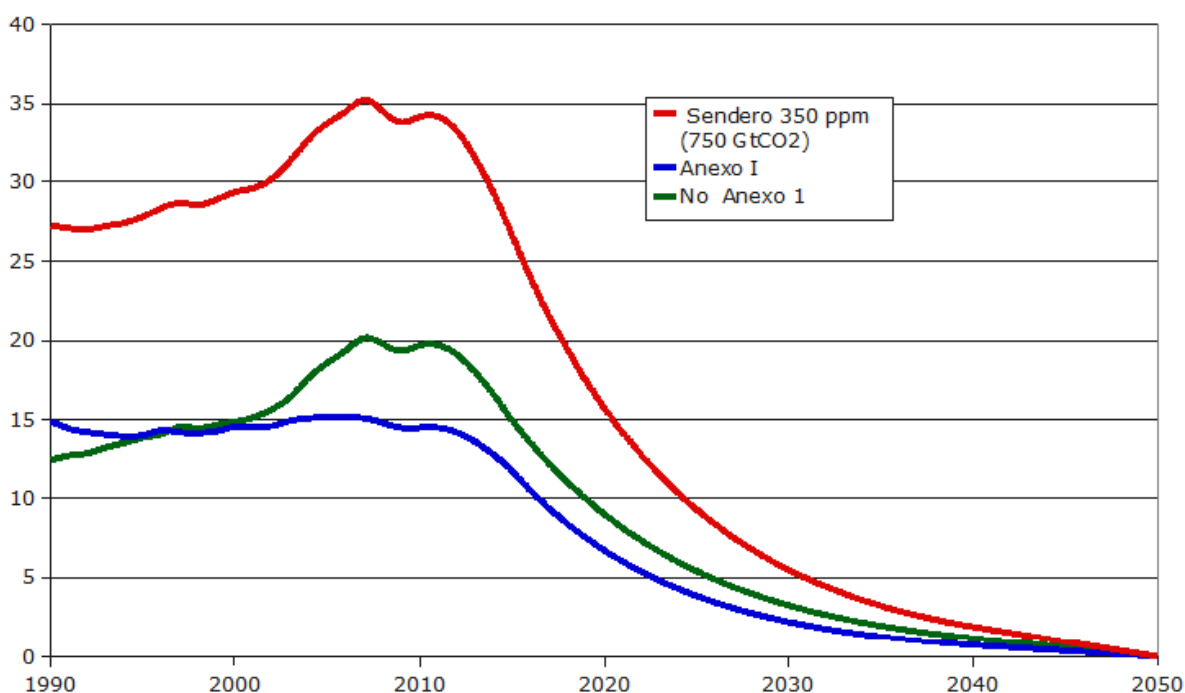


Figura 3. Las emisiones, en GT, gigatoneladas anuales de CO<sub>2</sub>, globales y de los dos grupos de países, Anexo I y No Anexo I, bajo el presupuesto del sendero 350 ppm.

El área bajo la línea roja es la suma de la que queda definida por las otras dos curvas. Adaptado de Baer *et al.*, 2009

Es decir, que en el nivel global el mayor esfuerzo de sustitución se condensa en la segunda y tercera décadas de este siglo y, por tanto, con las tecnologías actualmente disponibles. En la Figura 3 se muestra la trayectoria de emisiones de los países industrializados (Anexo I), suponiendo que reducen sus emisiones a la mitad del año base (50% de 1990) en 2020, un objetivo apenas superior al 45% que muchos países no industrializados exigen en las negociaciones sobre Cambio Climático. El conjunto de estos últimos, esto es los No Anexo I, deben seguir la trayectoria definida por

sustracción de aquella global que satisface el presupuesto de 750 GT (en rojo en la Figura 3).

### **Aplicación de la restricción presupuestaria de carbono a la transición energética en Argentina**

En este trabajo se procura mostrar las características de una posible transición de la matriz energética argentina mediante la identificación de las opciones tecnológicas que debieran priorizarse. Se ha partido del análisis de los potenciales de mitigación (“cuñas”) de distintas fuentes a lo largo de los próximos cuarenta años. Estos límites cuantitativos definen condiciones para los estudios retrodictivos (backcasting) que permiten elucidar el rol de cada una de las fuentes en el proceso de sustitución (Pedace y Massarini, 2007). Los objetivos de reducción de emisiones son tales que el máximo se alcanza antes del 2020 y disminuyen hasta cero en el 2050 a partir de entonces. De este modo, el sendero de reducción resulta similar al promedio de los países No Anexo I que se presenta en la Figura 3.

El análisis de la oferta energética se complementa con el de la evolución de los usos finales, i.e. con un estudio de la demanda. El presente es un abordaje estilizado y por ende cualitativo del problema de las opciones en escenarios de oferta que se basa en estudios previos sobre la dinámica del conjunto del sistema (Pedace y Codner, 2006). En ellos hemos mostrado que la restricción en la demanda por vía de eficiencia o uso racional, incluyendo la disminución de los usos intensivos en energía, tiene importancia para determinar la capacidad de uso de la infraestructura ya instalada para la penetración de nuevas fuentes (e.g. generación de respaldo de centrales hidroeléctricas, gasoductos) y, por lo tanto influir en el *tempo* del proceso de sustitución. Sin embargo, no aparece como factor determinante de la participación de cada una de las opciones tecnológicas en las trayectorias posibles del sistema y por tanto no la incluiremos en este análisis.

### **Rol de las fuentes de energía renovables.**

Se ha estudiado aquellas fuentes de las cuales existe un adecuado conocimiento del recurso y de sus aplicaciones. No se ha incluido la energía geotérmica ni la oceánica (mareas, corrientes y ondas marinas) porque la evaluación de estos recursos es incompleta y, sobre todo, porque las tecnologías respectivas presentan una penetración menos dinámica y más incierta en los escenarios globales. A pesar de ello, por su alta previsibilidad contribuirían a compensar la intermitencia de las demás y por tanto ameritan consideración en futuros estudios prospectivos.

### **Energía Eólica**

El potencial técnico de generación eléctrica en el territorio continental argentino excede varias veces el de la capacidad instalada del Cono Sur ( $\gg 1000\text{GW}$ ). Recientes estudios estiman de manera muy conservadora el potencial en 43 petavatios eléctricos, lo cual se compara con los 120 teravatios de generación actual (Xi Lua *et al.* 2009). Más importante aún, más de la mitad del parque eólico tendría una capacidad de carga cercana al 50% (mayor que la del parque hidroeléctrico), optimizando así el transporte masivo de esa generación y su incorporación al anillo sin necesidad de almacenamiento. La transmisión de muy larga distancia, probablemente mediante líneas de alto voltaje de corriente continua, supone fortalecer la integración eléctrica regional (Cono Sur) o aún continental a fin de volcar los excedentes en países vecinos para maximizar su participación en la generación. En el muy largo plazo la generación de hidrogeno como

vector sustituto se ha propuesto bajo el supuesto de una adecuación del sistema de distribución y de los equipos en distintos usos finales (transporte, residencial). Se ha planteado ya el aprovechamiento de la extensa red de gasoductos construida para gas natural, tanto mezclado con metano como en estado puro. Tanto la generación de electricidad como la producción de H<sub>2</sub> serían intermitentes, lo cual se compensaría con el almacenamiento en las respectivas redes. Sin embargo, no resulta evidente su ventaja respecto de la utilización directa de electricidad o el almacenamiento distribuido de la misma (Pedace y Codner, 2006). Como se ha comprobado en varios casos nacionales y regionales de gran magnitud, la entrada en varios puntos geográficos del sistema eléctrico que gocen de distintos regímenes de vientos permite compensar la variabilidad de la generación total del parque eólico y minimizar la necesidad de transmisión a distancia. La generación costa afuera parece relevante sólo en este último rol, por ejemplo, en las aguas muy próximas a grandes líneas de alta tensión en la costa atlántica, donde la conexión sería más económica que el transporte desde el norte o centro de la Patagonia y aportaría potencia al sistema a favor de un régimen de vientos complementario al de esta última región.

### **Bioenergía**

Estudios recientes revelan que el potencial técnico de residuos agrícolas y silvícolas es suficiente en el corto plazo para la generación eléctrica descentralizada, la energización rural y en menor medida para la producción de combustibles. Sin embargo, como fuente sustitutiva de combustibles líquidos fósiles para los grandes mercados es irrelevante. La producción de cultivos energéticos con este fin exigiría una superficie significativa de tierras agrícolas, aun suponiendo la producción de biocombustibles de generación más avanzada. Una oportunidad mejor en cuanto al uso del suelo y del agua y la producción sustentable de alimentos la brinda la generación de biogás, que sustituye gases fósiles y que puede utilizar la capacidad instalada de gasoductos. Una transición ordenada permitiría utilizar los excedentes de los usos locales o microregionales en los gasoductos ya instalados. Además del uso en el transporte, tendría un rol relevante en máquinas térmicas o celdas de combustible para compensar fluctuaciones de las fuentes intermitentes. En el más largo plazo la producción de macroalgas en el mar o de macro y microalgas en el continente podría cubrir todas las necesidades de vectores energéticos, de biomateriales y aun de parte de los alimentos con menores insumos. La mayor parte de las tecnologías que se valen de esta fuente son comerciales o se hallan en fase de planta piloto.

### **Solar térmica**

El potencial técnico de esta opción es relevante en el corto plazo para sustituir metano y electricidad en medio urbano para la producción de calor descentralizada (e.g. captación en edificios para agua caliente, calefacción). En más largo plazo compite con la energía solar fotovoltaica en la generación eléctrica descentralizada y en parques de alta potencia, en particular con tecnologías no demandantes de agua (eg, motores Stirling en sistemas de concentración) ya que la provisión de la misma es crítica en regiones de máxima insolación y no puede sustituirse en máquinas que utilicen vapor. También puede jugar un rol relevante en la producción de calor industrial (e.g. industria química) y, sólo a muy largo plazo, de H<sub>2</sub>.

### **Solar Fotovoltaica**

El nicho de electrificación rural y generación descentralizada, sobre todo en pequeñas redes, tiende a expandirse rápidamente en el mundo y su madurez técnica está probada.

En el mediano plazo puede ser un aporte significativo en la generación eléctrica urbana tanto integrada a edificios como en parques de pequeño porte al alcanzar el coste de paridad de red. Más allá del 2030 puede ser la tecnología de generación eléctrica dominante en la región por su versatilidad. Sólo a posteriori la generación de H<sub>2</sub> con los excedentes eléctricos parece adquirir alguna relevancia (Pedace y Codner, 2006).

## CONCLUSIONES

Las cuñas por fuentes son suficientes con la tecnología existente para la sustitución total de los fósiles en toda la matriz energética argentina en el horizonte 2050. Cada una de ellas por sí sola tiene la capacidad de hacerlo (tecnologías llamadas *back-stop*) pero sus posibles roles en la matriz están bien diferenciados y por lo tanto debieran investigarse las sinergias a lo largo del tiempo para el diseño de posibles trayectorias teniendo en cuenta criterios que trascienden el sistema energético, e.g. prioridades sociales. Tal como ocurre en la transición expuesta en los escenarios de presupuesto de alta restricción climática (Figuras 2 y 3), las tecnologías actualmente conocidas pueden dar cuenta del mayor esfuerzo de sustitución de fósiles en las próximas dos décadas.

La integración regional eléctrica (Mercosur, anillo suramericano) y la optimización de la distribución geográfica en la entrada de distintas fuentes intermitentes facilitarían el manejo de la variabilidad de la oferta eléctrica nacional. En la sustitución del gas natural los gasoductos pueden tener un papel similar en los intercambios regionales de biogás y tal vez mucho más tarde de H<sub>2</sub>. El H<sub>2</sub> aparece como el vector necesario para sustituir todos los usos de combustibles fósiles en el caso de las tecnologías que sólo producen electricidad (eólica y fotovoltaica), pero no lo sería si el aporte de bioenergía resultase relevante y/o si tales usos finales pudieran ser electrificados.

La electrificación progresiva de la matriz continuaría en todos los casos favoreciendo la penetración de las renovables para generación eléctrica. La evolución de las tecnologías y de los usos finales en transporte y las formas de almacenamiento determinarían la proporción final en la matriz como lo haría también la competencia entre H<sub>2</sub> y vectores bioenergéticos. En particular, en el caso del transporte urbano y a más largo plazo el interurbano, tanto de pasajeros como de cargas, estos factores dependerán de decisiones tempranas sobre infraestructura. En base a la prospectiva tecnológica descrita se justifica una planificación energética de largo plazo que incluya todas las fuentes consideradas para su incorporación en distintos plazos de manera flexible. Lo acontecido hasta hoy en materia de integración regional muestra que la prioridad dada a las necesidades de corto plazo y las estrategias empresariales conducen a inversiones inadecuadas, contribuyen a la crisis energética local y global y promueven conflictos regionales por bienes naturales escasos, como el gas natural o los ríos. En consecuencia, una planificación de largo plazo requeriría comenzar por acuerdos básicos en la región sobre los objetivos de la transición energética y en formas de cooperación que satisfagan criterios sociales y ambientales. Esto incluye el aprovechamiento de la infraestructura que ya existe, pero sobre todo implica definir la adecuación de los objetivos de la transición a la agenda de sustentabilidad global de la región. La identificación de las sinergias e incertidumbres clave en este proceso de definición de las políticas sectoriales debiera ser una prioridad del trabajo común. Por cuanto el grueso de la sustitución se debe y puede realizar con tecnologías ya disponibles o en fases muy avanzadas de desarrollo aquí analizadas, aquellas opciones de más largo plazo no debieran absorber prioritariamente los esfuerzos de I&D.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, M.R.; FRAME, D.J.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C.D.; LOWE, J.A.; MEINSHAUSEN, M. and MEINSHAUSEN, N. 2009. Warming caused by cumulative carbon emissions: towards the trillionth tonne. *Nature* 458: 1163-1166.
- ACKERMAN, F.; STANTON, E.A.; DECANIO, S.J.; GOODSTEIN, E.; HOWARTH, R.B.; NORGAARD, R.B.; NORMAN, C.S. and SHEERAN K.A. 2009. *The Economics of 350: The Benefits and Costs of Climate Stabilization*. Economics for Equity and Environment, [www.e3network.org](http://www.e3network.org)
- BAER, P.; ATHANASIOU, T. and KARTHA S. 2009. A 350 ppm Emergency Pathway . <http://gdrights.org/2009/10/20/a-350-ppm-emergency-pathway>
- HANSEN, J.; SATO, M.; KHARECHA, P.; BEERLING, D., BERNER, R.; MASSON-DELMOTTE, V.; PAGANI, M.; RAYMO, M., ROYERM D.L. and ZACHOS J.C. 2008. Target Atmospheric CO<sub>2</sub>: Where Should Humanity Aim?. *The Open Atmospheric Science Journal* 2: 217-231.
- MEINSHAUSEN, M.; MEINSHAUSEN, N.; HARE, W., RAPER, S.C.B.; FRIELER, K.; KNUTTI, R.; FRAME, D.J. and ALLEN, M.R. 2009. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *NATURE* 458: 1158-1163.
- PEDACE, R. y CODNER, D. 2006. Prospectiva de hidrógeno: escenarios sustentables y agenda de I&D de largo plazo, *Petrotecnia*, Año XLVI.
- PEDACE, R. y MASSARINI, A. Políticas para el largo plazo en escenarios de alta restricción climática (2009). *Desafíos del Cambio Climático y Global en Argentina*. 325-327. Eudeba.
- ROCKSTRÖM J., STEFFEN W., NOONE, ÅSA PERSSON, F. STUART CHAPIN, III, ERIC F. LAMBIN, TIMOTHY M. LENTON, MARTEN SCHEFFER, CARL FOLKE, HANS JOACHIM SCHELLNHUBER, BJÖRN NYKVIST, CYNTHIA A. DE WIT, TERRY HUGHES, SANDER VAN DER LEEUW, HENNING RODHE, SVERKER SÖRLIN, PETER K. SNYDER, ROBERT COSTANZA, UNO SVEDIN, MALIN FALKENMARK, LOUISE KARLBERG, ROBERT W. CORELL, VICTORIA J. FABRY, JAMES HANSEN, BRIAN WALKER, DIANA LIVERMAN, KATHERINE RICHARDSON, PAUL CRUTZEN & JONATHAN A. FOLEY\_A 2009. Safe operating space for humanity *Nature* 461, 472-475 |
- SCHELLNHUBER, H.J. 2008. Global warming: Stop worrying, start panicking? *PNAS* 105(38): 14239–14240
- XI LUIA, MCELROY, M.B. and JUHA KIVILUOMAC. 2009. Global potential for wind-generated electricity .<http://www.pnas.org>

# EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS ENERGÍAS RENOVABLES

## *Climate change and energy renewable*

**Ernesto Mario Leikis**

Energy Institute-UK  
Rocamora 4019 Piso 1º, (1184) Ciudad de Buenos Aires  
leikisernesto@hotmail.com

### **RESUMEN**

Las sequías más intensas produjeron pérdidas de cuatro millones de toneladas en la cosecha de cereales del año 2008; las lluvias torrenciales causaron inundaciones, evacuados, la pérdida de vidas humanas y materiales. Estas son algunas de las implicancias del cambio climático, causado por el incremento de los tenores de metano y dióxido de carbono en la atmósfera producido por el transporte entre otras fuentes.

Las demandas de energía pueden disminuirse (aunque sólo insuficientemente) con el Uso Racional de la Energía y se impone el aumento de la oferta mediante las energías renovables (“limpias”) y electrificar al máximo el transporte ferroviario urbano y de media y larga distancia. El objetivo de este trabajo es presenta las múltiples alternativas para generar energías alternativas en Argentina.

**Palabras clave:** cambio climático, energías alternativas renovables

### **SUMMARY**

The intense draughts (harvest 2008 of cereals, four million metric tonnes lost); torrential rains, causing floods, more evacuees and loss of human lives and materials. These are some implications of climate change, caused by increase of carbon dioxide and methane content in atmosphere, produced for the transportation.

The demands of energy can be diminished with its rational use, but insufficiently when alone; is imperative growing supply of Renewables (“clean”) Energies and electrifying transportation by suburban, short and long distance railroads. The objective of this work is presented the multiple alternatives to generate alternative energies in Argentina.

**Key words:** climate changes, renewable alternative energy

### **INTRODUCCIÓN**

La Ciudad de Buenos Aires está ubicada a la vera del río más ancho del mundo, que por tal razón fue llamado inicialmente Mar Dulce, tiene por resultado que se sufran menos los rigores del Cambio Climático. En efecto, la inercia térmica de esa enorme masa de agua absorbiendo el exceso de calor cuando el sol aprieta, aportando humedad al aire muy seco, los desagües pluviales o devolviendo el calor antes absorbido ante una masa de aire polar, beneficia el confort de los ciudadanos de Buenos Aires. Sin embargo las áreas rurales de Argentina han sufrido una sequía que puede mermar el rendimiento de la agricultura tradicional. En la cosecha del año 2008 se perdieron cuatro millones de toneladas de cereales (trigo y maíz). En principio estas serían algunas de las consecuencias de variaciones climáticas que se potenciarían con el cambio climático. Otras consecuencias pronosticadas son la desecación de ríos, el incendio de bosques, la retracción de los glaciares (que constituyen la reserva de agua dulce) e incluso la

licuación de las masas heladas de ambos polos, lo que impactará en la generación de alimentos para la población mundial.

El Cambio Climático actúa acentuando las desigualdades de temperatura y humedad de toda la superficie del planeta Tierra. La pregunta que se formulan los damnificados es ¿esto no se podía prever?; es obvio que la respuesta es afirmativa. Las cantidades de dióxido de carbono y de metano (veinte veces más potente que aquel) presentes en la atmósfera actúan como una trampa para el calor recibido como radiación solar, ya que el calor devuelto hacia el espacio interestelar por la superficie terrestre es parcialmente absorbido en la atmósfera por estos gases y en parte devuelto al planeta Tierra, determinando la temperatura y humedad de aquella. Esto es lo que se denomina “efecto invernadero” por semejanza con lo que ocurre en los recintos de paredes y techo transparentes donde se cultivan en invierno flores, frutas y hortalizas.

El dióxido de carbono es producido por la combustión de hidrocarburos (carbón, destilados del petróleo y gas natural) y el metano por la combustión incompleta de aquellos en los automotores y el escape de las torres de captación de petróleo crudo en los yacimientos. También se emite dióxido de carbono cuando se quema leña, y residuos vegetales de la agroindustria (bagazo, cáscara de semillas de girasol, aserrín de quebracho en las fábricas de tanino, aserrín de madera en el procesamiento de ésta, etc). En general, las chimeneas de los Generadores de Vapor, tanto industriales como de las Centrales Termoeléctricas y los Hornos Industriales de Llama vomitan millones de toneladas de dióxido de carbono, y otro tanto lo hacen los escapes de los automotores, desde motocicletas hasta locomotoras Diesel, pasando por automóviles, ómnibus y camiones; los escapes de aviones, helicópteros y buques. También la demanda doméstica de calor para cocinas, sanitarios y calefacción hace un aporte importante.

El aumento desmedido de los gases de “efecto invernadero” se ha producido (y se sigue produciendo) por el creciente y desenfrenado uso de la energía eléctrica, que crea la demanda alentada por poderosos intereses mayormente petroleros. Parte del dióxido de carbono es captado por la cobertura vegetal de bosques y praderas, por lo que debe considerarse que la tala desmedida de bosques nativos y la roturación de las praderas para el cultivo agrícola, así como los incendios forestales y las prácticas agropecuarias no sustentables como la quemazón de pastizales con fines agropecuarios, generan también gases de efecto invernadero.

La disminución de gases de efecto invernadero por la aplicación de energías renovables y Uso Racional de la Energía posee algunas trabas relacionadas con el orden económico y político, ya que el costo de las obras y equipos necesarios son costosos.

### **Potenciales de las principales energías renovables “limpias” en Argentina.**

Los recursos naturales renovables con que cuenta Argentina cubren casi todo las alternativas del espectro energético renovable, donde las energías “limpias” entre estas se encuentran:

–*Energía Eólica:* Esta energía se considera explotable cuando el viento puntualmente supera la velocidad media de 14 km por hora. Hay numerosas localidades en el Noroeste de Argentina (NOA), la región de Cuyo y Centro, en condición de instalar parques de aerogeneradores eólicos, pero es en la Patagonia donde Gill (2007) relevó un increíble potencial de “buenos vientos” de 300 000 MW. Para captar este potencial se requieren entre 120 000 aparatos aerogeneradores (General Electric, potencia 2.5 MW c/u) o 150 000 (Siemens, potencia 2 MW c/u) al estado actual de la tecnología; estas cantidades son más que suficientes para instalar una fábrica y producirlos en serie, amortizando rápidamente la inversión y abaratando los equipos. En relación con lo



anterior cabe mencionar el importante parque eólico proyectado en Pico Truncado (más de 1000 Mw).

Otro ejemplo es el parque eólico Arauco II, construido en la Provincia de La Rioja, en un parque eólico de 25,6 Mw, parte de un complejo futuro de 100 Mw (Matriz energética, enero 2009).

–*Energía Solar.* Cabe distinguir dos variantes de su aprovechamiento. Una, la conversión directa de la radiación visible mediante paneles de células fotovoltaicas en energía eléctrica (rendimiento máximo 15 %), es viable en grandes y soleadas extensiones, como el Valle de la Luna (Ichigualasto en la provincia de San Juan y Talampaya en la de La Rioja), otras en la provincia de San Luis (Cuyo) y en el NOA.

La otra variante de aprovechamiento es el calentamiento del agua en paneles térmicos (rendimiento hasta el 75 % de toda la radiación solar incidente, 1000 w por metro cuadrado) para uso sanitario y de calefacción, apropiados para instalar en los techos de viviendas familiares y también en grandes edificios de departamentos y oficinas.

No es de menor importancia la provisión de energía para usos electrónicos y también térmicos en pequeñas comunidades aisladas de la Red de energía eléctrica.

–*Energía Hidráulica.* Las represas tenían originalmente como exclusivo objeto el manejo del agua para consumo humano a lo que se agregó después el riego. Con el advenimiento de la hidroelectricidad a principios del siglo XX, la energía hidráulica fue introducida como un subproducto para ayudar a amortizar el costo de las obras. Sin embargo en la actualidad, las represas como Salto Grande, el Chocón y la propia Yacretá tienen como principal objetivo la generación de electricidad.

–*Energía Mareomotriz.* La tecnología de captación de esta forma de energía está todavía en una etapa de experimentación y elaboración, pero el potencial que ofrece el litoral Atlántico argentino es tal que seguramente en un futuro próximo habrá numerosas oportunidades. Hay una incógnita en la Península de Valdés donde existe un istmo de más de 6 km de ancho con una diferencia de 6 m entre pleamar y bajamar.

### **Las demandas de energía en la Argentina**

Los datos sobre la demanda de energía eléctrica en Argentina son incompletos; se acepta que la potencia instalada total es 21000 MW pero cabe agregar la energía importada de Paraguay y Brasil. Lo propio ocurre con el gas natural con la importación de Bolivia y las exportaciones a Chile y Uruguay; se desconoce completamente la distribución por sectores. Una distribución posible es la siguiente:

- Demanda Industrial	28.6 %
- Demanda Doméstica	26.3 %
- Pública y Comercial	13.4 %
- Transporte	13.0 %

El resto a 100.0 % se pierde en la transmisión, distribución y transformadores. Para mitigar los efectos del Cambio Climático se debe apelar a los clásicos dos opuestos; uno es aumentar la oferta de energías renovables “limpias” entre las cuales incluimos la Energía Atómica (porque no aporta ni dióxido de carbono ni metano a la atmósfera). Afortunadamente Argentina posee las capacidades instaladas para ello, ya que dispone de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) quien tiene los recursos humanos

(científicos, tecnólogos y operadores experimentados), y cuenta además con una industria nacional capaz de proveer partes y componentes de sus equipos.

El otro recurso es contraer las demandas, especialmente la doméstica, la pública y la comercial que en conjunto aparecen requiriendo casi el 40 % del total, sea empleando modernas tecnologías (como la iluminación con lámparas de bajo consumo), sea utilizando las recetas clásicas del uso racional de la energía, que nunca fueron aplicadas a las arriba mencionadas demandas; no está de más aclarar que utilizar exclusivamente la contracción de la demanda no es suficiente para mitigar el Cambio Climático.

Es así que ambos recursos se complementan, se potencian.

Es evidente que el uso del petróleo y los hidrocarburos en general no desaparecerán súbitamente sino que habrá un período de transición durante el cual coexistirán con las Energías Renovables “limpias”; las razones para ello son las siguientes:

- a) Sobrevivirá su uso todas las industrias petroquímica mientras la sociedad consume polietileno, PVC, poliuretano, etc.
- b) La incorporación de las Energías Renovables a la producción de electricidad será gradual, ya que ni aún la de más simple instalación, la Eólica, puede ser masivamente instalada. Los proyectos se extienden hasta el año 2030 y las previsiones hasta el año 2050. En los países emergentes la escasez de recursos financieros hacen optimistas estas fechas.
- c) Hasta que los diversos Parques eólicos se conecten en redes (como sucede en la Unión Europea) y su operación sea enteramente confiable, las Centrales Termoeléctrica tendrán la función supletoria para asegurar la estabilidad del sistema. Por ejemplo, en Argentina las autoridades nacionales han autorizado recientemente la adquisición de un turbogruppo a gas de 125 MW de ciclo abierto caracterizado por una rápida entrada en servicio y suministro flexible de energía eléctrica.
- d) En el transporte de pasajeros y cargas los automóviles, camiones y ómnibus urbanos en uso serán lentamente sustituidos por subterráneos y trolebuses o serán equipados para funcionar con hidrógeno obtenido por electrólisis del agua. Los de media y larga distancia serán en partes reemplazados por ferrocarriles de tracción eléctrica, pero en el traslado de los pasajeros y contenedores desde las terminales al lugar de destino serán imprescindibles los automotores. Por otra parte es necesario advertir que los vehículos actuales seguirán en servicio por muchos años.
- e) La demanda doméstica de gas natural para cocinas, calefones, estufas y termotanques en la Ciudad de Buenos Aires y otros grandes centros urbanos de Argentina se mantendrán muchos años y aún soportará una expansión en el corto plazo por la previsible incorporación de nuevos usuarios en el Conurbano. La regulación legal a cargo del Estado deberá ser cuidadosa, consensuada y competente, habida cuenta de los grandes intereses en juego y la natural complejidad de la materia.

La demanda doméstica de energía, la emisión de dióxido de carbono y soluciones para el corto y mediano plazo

Hemos reportado antes que la demanda doméstica alcanza casi un 27% del total de energía producida; en un esfuerzo por mitigar y contener la correspondiente emisión de dióxido de carbono, el gobierno del Reino Unido promulgó el 15 de diciembre de 2006 una ley para viviendas nuevas como de “cero emisión de dióxido equivalente” siendo

este último el que resulta de sumar al producido en la vivienda por combustión de hidrocarburos, el que derraman en promedio las chimeneas de las Centrales Termoeléctricas para producir la energía eléctrica consumida también por la vivienda. La ley consiste en fijar una determinada cantidad de emisión de dióxido de carbono por metro cuadrado de vivienda, y darse como meta su reducción gradual de un 25% para el año 2010, un 44% para el año 2013 arribando al 100% en el año 2016. Con este objeto se aprobó un “Código de Viviendas Sustentables” al que deberían ajustarse las nuevas y como estímulo las eximió del pago de la “STAMP DUTY TAX”, alcanzando tal calidad mediante el aprovechamiento de la luz natural, calefacción y ventilación pasivos y la autogeneración combinada de energía eléctrica y agua caliente para uso sanitario. Como alternativa, el aprovechamiento de la Energía Solar a través de paneles térmicos y/o fotovoltaicos.

Para las viviendas existentes la emisión de dióxido de carbono puede ser objeto de paliativos, como los que propone Ruyssevelt (2008), cuyo esquema se basa en:

- a) Obturación del espacio entre puerta y piso neutralizando el tiraje natural.
- b) Aislamiento térmico de las paredes exteriores.
- c) Intercambiando calor entre el aire de ventilación y el de renovación.
- d) Sustitución del termotanque clásico por uno de condensación.
- e) Instalación de un sobretecho a dos aguas (si no lo hay) con aislamiento térmico interior y paneles fotovoltaico y térmico.
- f) Instalación de doble vidrio y cámara intermedia en las ventanas

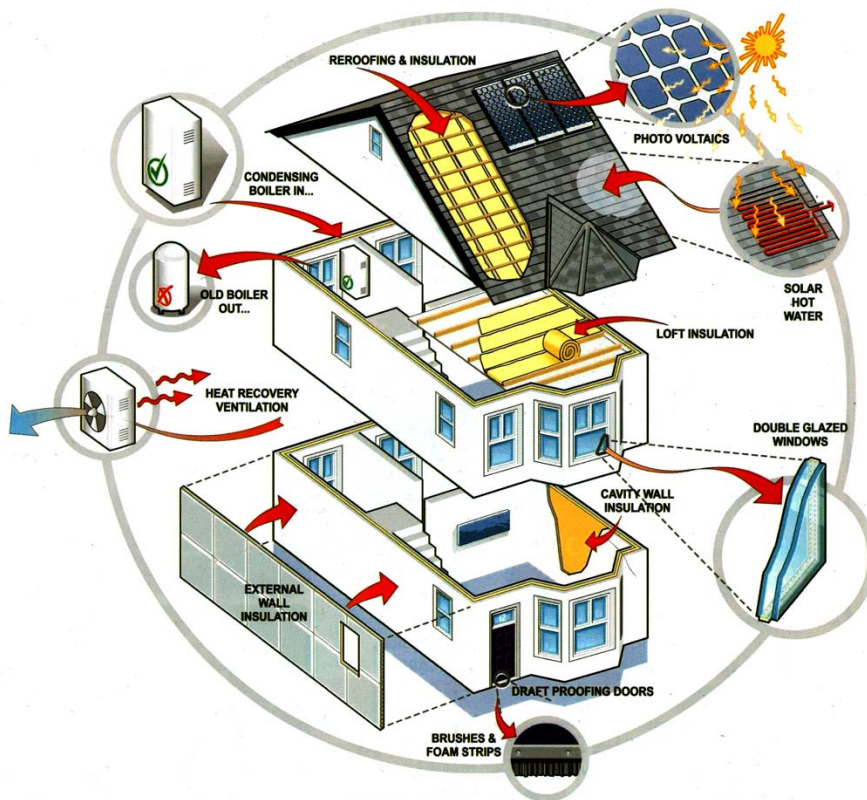
El artículo del Dr. Paul Ruyssevelt (2008) tiene un título de impacto: ¿Sirven para el Siglo XXI nuestras viviendas existentes? Se responde ante todo con una cuestión previa: aunque los objetivos de la ley de los “zero carbon homes” se alcancen, para lo que concierne al Cambio Climático, el reequipamiento de las existentes es un tema que presiona mucho. En efecto, para el año 2050 Ruyssevelt estima que el 80 % de estas estará en pie y habitadas en el Reino Unido (en Argentina el porcentaje posiblemente sea superior). Si bien en el Reino Unido en el año 2050 las “zero carbon homes” evitarán la descarga de un millón de toneladas de dióxido de carbono, esto sólo representará un 6 % de la emisión de ese año, con las consecuencias que tendrá en el Cambio Climático global.

Ésta es una de las razones para promover la disminución de la demanda neta de energía de las viviendas existentes. Hay otras dos: económicamente al ritmo actual de la subida de la temperatura media de la superficie terrestre. el costo del confort será mucho más caro. Por otra parte, socialmente se vislumbra que el reequipamiento puede crear un número significativo de puestos de trabajo, manual e intelectual, y desencadenar la creación de nuevas tecnologías.

Otro especialista, David Strong, en un artículo titulado “Como reducir las emisiones de dióxido de carbono en edificios existentes” (Energy World, febrero 2009), analiza las particularidades del caso de las multiviviendas (y comerciales y públicas) que sintetiza en los diez puntos siguientes:

1º) *La inclusión es más potente que la innovación:* Los propietarios y ocupantes deben ser consultados. De otro modo sentirán como impuesta la tecnología empleada.

2º) *Mire a su alrededor y ubique los puntos que deben ser atacados:* Puede ayudar a hacer uso de las nuevas tecnologías.



Se logra mucho con acciones simples. Ensayadas y probadas (ENERGY WORLD octubre 2008)

3º) *Mantenga su visión en el horizonte:* Enfocar demasiado en lo inmediato puede reducir la posibilidad de mayores mejoras más tarde.

4º) *Actuando conjuntamente tendremos éxito, separados fallaremos:* Una cuidadosa programación de los trabajos de instalación y puesta en marcha por el Estado reduce costos de capital y fomenta el espíritu comunitario.

5º) *De maximizar a minimizar:* En tanto se forma la cápsula de tecnologías de energías “limpias” se puede apelar a consideraciones ecologistas; ellas deben compartir la etapa final de todo proyecto de disminución de la emisión.

6º) *La vida no es sólo paredes y termotanques:* Un ejemplo es volver a áreas de estacionamiento con superficies libres y mejores plazos y precios para que la gente reduzca el uso diario del automóvil.

7º) *Piense más allá de las soluciones inmediatas:* El aislamiento térmico mal utilizado puede impedir a la masa de la pared actuar con su inercia térmica que reduciría el recalentamiento en verano y su ventilación nocturna.

8º) *Recuerde que los edificios antiguos tienen un espíritu muy diferente:* Las formas de construcción y materiales tradicionales permiten con su permeabilidad al vapor absorber y controlar su nivel de humedad.

9º) *El dinero mueve al mundo:* Sin incentivos tales como reembolso de impuestos, préstamos sin intereses y precios de la energía garantizados, las mejoras no pueden ser vistas como parte de una Política de Estado.

10º) *¿Quién apaga la luz?:* Por último, la real performance de los edificios en el mundo muchas veces difiere grandemente de las recomendaciones del modelo, debido a las costumbres del común de la gente. La solución es mantenerla informada al día.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se propone para una Política Energética Nacional los siguientes ítem:

1º) Para recuperar el tiempo perdido se hace necesario planificar la transición desde la antigua matriz energética basada en los hidrocarburos (fuentes no renovables) hacia una nueva matriz energética basada en fuentes renovables “limpias” a tono con los requerimientos del Cambio Climático y las tendencias actuales

2º) Utilizar las alternativas presentes en Argentina para la generación de Energía Eléctrica sin emitir dióxido de carbono, especialmente los más simples, de menores costos y pasibles de ser instalados y puestos en servicio gradualmente (eólicos y solares), de tecnologías probadas.

3º) La futura Política Energética Nacional debe considerar la inserción de Argentina en el contexto internacional definida por los documentos del MERCOSUR, UNASUR, el Grupo de los 20 (G-20) y las Naciones Unidas, en particular sobre el Cambio Climático.

Las conclusiones anteriores se inscribirán en el marco de la política del gobierno nacional: con un crecimiento económico sustentable y una justa distribución de la riqueza, condiciones básicas para la democracia.

## **BIBLIOGRAFÍA**

*www.worldenergy.net/* Energy World, julio/agosto 2007, Página 19

*www.worldenergy.net/*Energy World, International news, abril 2009, Págs. 3 y 4

*www.worldenergy.net/*Energy World, octubre 2007, Páginas 10 y 11

*www.worldenergy.net/* Energy World, octubre 2008, Páginas 10 y 11

*www.worldenergy.net/* Energy World, febrero 2009, Páginas 20 y 21

## **ANEXO. Ilustraciones sobre Energías Renovables “limpias”**



Vista de un parque eólico en Escocia.  
(ENERGY WORLD, junio 2008)



Ensayando fotocélulas solares (ENERGY  
WORLD diciembre 2008)



Turbinas eólicas verticales e iluminación de día en el techo de un supermercado, cableado de parques eólicos marítimos, paneles térmicos en un edificio de departamentos y un avión liviano accionado por células de combustible (ENERGY WORLD febrero 2009)

**Alternativas para una gestión sostenible,  
la gestión de riesgos y  
el desarrollo sostenible.**







# EVALUACIÓN DE LÍPIDOS EN RESIDUOS DE CAFÉ Y DETERMINACIÓN DE POSIBLES USOS BIOENERGÉTICOS

*Lipids evaluation on waste grounded coffee and determination of bioenergetic uses*

**Leonardo Mariano Paz\*, Hugo Daniel Chludil, Silvia Rosa Leicach, y Elena Rita Mongelli**

Cátedra de Química de Biomoléculas, Departamento de Biología Aplicada y Alimentos.  
Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453 C417DSE Ciudad de Buenos Aires  
Impaz@agro.uba.ar

## RESUMEN

Ante una creciente demanda de energía y el actual conocimiento de un próximo agotamiento de las reservas fósiles en un corto plazo, surge una eventual necesidad de redescubrir y diseñar proyectos que apunten a generar conocimientos sobre fuentes alternativas de energía más amigables con el medio ambiente.

En el presente trabajo se seleccionó un residuo urbano (borras del café) por ser una materia prima de desecho de las grandes ciudades.

Las determinaciones específicas que realizamos sobre esta materia prima, buscó cuantificar el porcentaje de lípidos del residuo (9 % P/P) mediante extracción continua con equipo Soxhlet y evaluar la calidad del aceite para su posterior transformación química a biodiesel, contribuyendo en diversificar la matriz energética nacional y ayudando a reducir las emisiones de gases responsables del efecto invernadero.

De resultados obtenidos por metodologías en uso y otras novedosas como la transesterificación “in situ” (mínimo uso de solvente orgánico), se obtuvieron las mezclas de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMEs) y analizaron mediante cromatografía gaseosa y espectrometría de masas (CG-EM), determinándose los siguientes porcentajes de ésteres metílicos de los ácidos palmítico (47,3), linoleico (38,9); *cis*-6 petroselínico (7,5) y esteárico (5,2). Por otro lado se determinó que los FAME constitúan el 99 % de la muestra analizada. Estos valores son coincidentes con los informados en la bibliografía, por transesterificación convencional.

Estos estudios preliminares sugieren su posible utilidad como alternativa bioenergética respetando el medio ambiente.

**Palabras clave:** lípidos, residuos, borra de café, bioenergía.

## SUMMARY

According the higher energy demand and the possible exhaustion of fossil sources it is totally necessary to apply new sources and technologies more friendly with the environment that can mitigate the emissions of greenhouse gasses.

The aim in the present work was to determinate the possible uses of coffee ground waste. This kind of urban waste is properly to study its potential uses like feedstock bioenergy.

In order to evaluate the quality for biodiesel production, the lipid quantification by Soxhlet extraction method using ether of petroleum as a solvent, indicated a content of 9 % of oil. According this result an in situ tranesterification was performed. The FAME content by CG-MS showed the following composition of the fatty acids: palmitic acid (47,3 %), linoleic acid (38,9 %); *cis*-6 petroselinic acid (7,5 %) y stearic acid (5,2 %).

On the other hand, a 99% of total FAME content was determined. This result is similar with the reported by others authors for the conventional method of transesterification. Nevertheless, the in situ transesterification could present an environmental advantage in the biodiesel production.

**Key words:** lipids, wastes, grounded coffee, bioenergy.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, se han implementado nuevas tecnologías tendientes a diversificar la producción energética y minimizar la actual dependencia de los carburantes fósiles y de su impacto negativo sobre el medio ambiente y el cambio climático. Debido a la creciente demanda de energía y el actual conocimiento de un próximo agotamiento de las reservas fósiles en un corto plazo, surge una eventual necesidad de redescubrir y diseñar proyectos que apunten a generar conocimientos sobre fuentes alternativas de energía más amigables con el medio ambiente. Por otro lado, se evalúan decenas de residuos que generan diariamente los centros urbanos y algunas industrias, con vistas a su reutilización en algún eslabón productivo o comunitario para minimizar el impacto negativo del mismo dentro de nuestro hábitat.

Los residuos urbanos constituyen una alternativa interesante para evaluar como fuente de biocombustibles. Un ejemplo significativo lo constituyen los aceites comestibles usados para la obtención de biodiesel. Este biocombustible presenta características de relevancia desde el punto de vista ambiental, ya que el biodiésel elaborado con lípidos provenientes de cultivos agrícolas impacta mínimamente el equilibrio del dióxido de carbono atmosférico. A esto se suma la biodegradabilidad del producto, que es de un 90 % en 25 días, y su muy baja toxicidad (300 veces menos que el gasoil). A estas ventajas se adicionan la ausencia de azufre, que contribuye a que se puedan disminuir las emisiones de dióxido de azufre, y las reducciones significativas de componentes aromáticos en los gases de emisión de los motores (Gerpen, 2005; Lamers *et al.*, 2008).

En el presente trabajo se seleccionó un residuo urbano, como lo es el residuo del café, que se obtiene luego de la preparación de la infusión (borras del café). Fue escogida ya que es una materia prima de desecho de las grandes ciudades y por el interés de reutilización del mismo como abono en la agricultura orgánica. Se procedió a cuantificar el porcentaje de lípidos de aceite para su posterior transesterificación *in situ* (Canakei, 2007), para la obtención de los ésteres metílicos de los ácidos grasos o FAME (biodiésel).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Materia prima:**

Se recolectaron residuos de café resultantes de la obtención de la infusión y se conservaron en freezer hasta dicho residuo mediante extracción continua con equipo Soxhlet y a evaluar la calidad del su procesamiento.

### **Extracción del aceite:**

Se secaron 100 g de café en estufa a 105 °C hasta peso constante, la extracción se realizó en equipo Soxhlet usando éter de petróleo como disolvente, durante 16 h. Se calculó el rendimiento en la obtención del aceite.

### Transesterificación in situ:

Se secaron 100 g de café en estufa a 105 °C hasta peso constante y se maceraron con 100 ml de metanol durante 24 h. A la mezcla resultante se le agregó 3,8 ml de ácido sulfúrico concentrado y 150 ml de metanol. La misma se calentó a reflujo a 60 °C, bajo agitación, durante 2 h. El producto de la transesterificación se lavó con éter de petróleo, y la fase etérea se lavó con agua destilada hasta neutralidad. Luego se deshidrató con sulfato de sodio anhidro y el solvente se evaporó a presión reducida.

### Cromatografía gaseosa:

Para el análisis de FAME se empleó un cromatógrafo de gases GC 6890N Agilent Technologies acoplado a un espectrómetro de masas MS 5973 (Agilent Technologies Inc). Se utilizó una columna capilar HP-5MS (30 m x 250 µm x 0.25 µm) y helio como gas portador. El programa usado fue: temperatura inicial de 100 °C durante 2 minutos y a partir de ahí un incremento de 5 °C por minuto hasta alcanzar la temperatura final de 270 °C, y luego 15 minutos a dicha temperatura. La temperatura del inyector fue de 250 °C y la del detector de 280 °C.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La extracción del aceite del residuo de café empleando un equipo Soxhlet y éter de petróleo como disolvente, resultó en un 9 % de rendimiento. Este valor es coincidente con el rango de rendimientos informados en la bibliografía (9-15%) y confirma la utilidad de esta materia prima desechada como fuente de obtención de biodiesel.

De acuerdo a este resultado se procedió a la transesterificación in situ del residuo del café empleando ácido sulfúrico como catalizador y metanol como reactivo. Se obtuvieron las mezclas de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) y analizaron mediante cromatografía gaseosa y espectrometría de masas (CG-EM). Se determinó la presencia de los ésteres metílicos de los ácidos palmítico, linoleico, *cis*-6 petroselínico y esteárico, calculándose los porcentajes de los mismos (Tabla 1).

Ácidos grasos	%
C 14 : 0	1,3
C 16 : 0	12,8
C 18 : 0	5,9
C 18 : 1	10,4
C 18 : 2	21,3
C 18 : 3	32,1
Otros	14,8

Tabla 1. Porcentajes de FAME en el residuo del café determinados por CG-MS.

Estos resultados son similares a los informados por Oliveira *et al.* (2008) , excepto para el ácido *cis*-6 petroselínico, el cual es un ácido graso inusual que aparece principalmente en las Umbelíferas Este ácido difiere del ácido oleico, en la posición del doble enlace. Se ha informado su uso para la preparación de diferentes compuestos industriales como surfactantes, detergentes y humectantes (Kim *et al.*, 1996).

Por otro lado se determinó que los FAME constituían el 99 % de la muestra analizada (Figura 1).

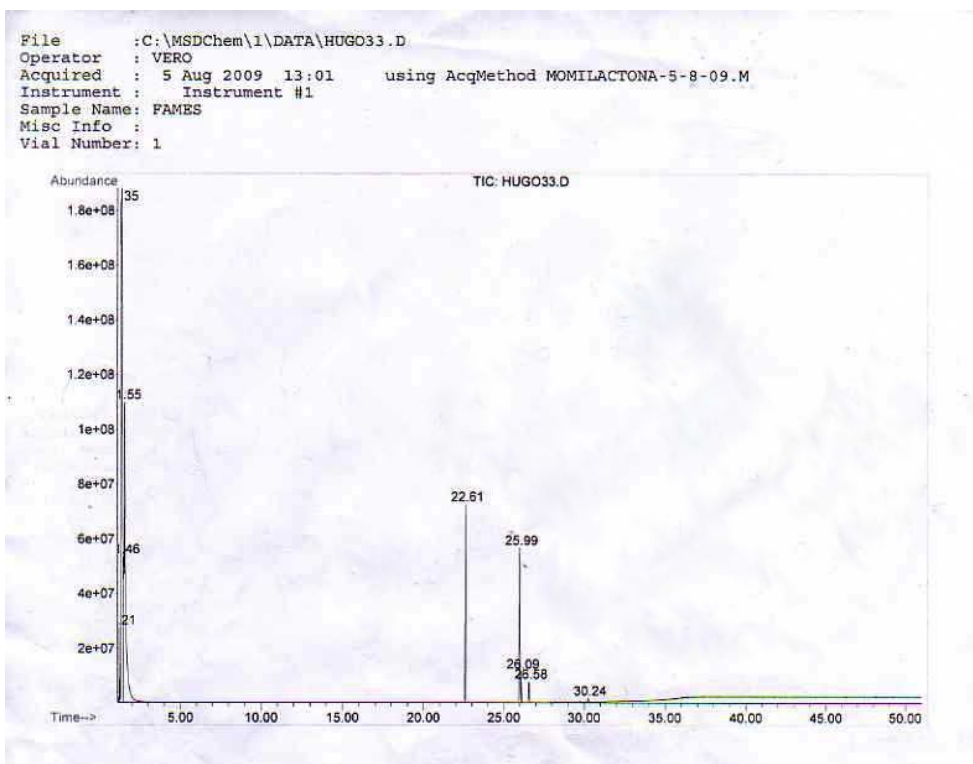


Figura 1. Cromatograma obtenido por CG-MS de los FAME de la muestra de la transesterificación *in situ*.

Estos valores son coincidentes con los informados en bibliografía (Oliveira *et al.*, 2008), por transesterificación convencional del aceite. Sin embargo, la transesterificación *in situ* permite la obtención de FAME sin la extracción previa del aceite, lo que implica un menor uso de solvente y de energía calórica en el proceso de elaboración de biodiésel.

## CONCLUSIONES

El residuo del café representa un desecho urbano de importancia en las grandes ciudades. Dado que el mismo contiene aproximadamente un 10 % de aceite, constituye una fuente interesante y alternativa de lípidos para la producción de biodiésel. El biodiésel presenta varias características ecológicas de interés por ser biodegradable, no inflamable, de baja toxicidad y por su escaso impacto en el equilibrio de CO<sub>2</sub> atmosférico. En este trabajo se procedió a la transesterificación *in situ* del residuo del café, obteniéndose un 99% de FAME. La transesterificación *in situ*, a diferencia de la transesterificación tradicional permite la obtención de FAME sin la extracción previa del aceite, lo que implica un menor uso de solvente y de energía calórica en el proceso de elaboración de biodiesel. Por otro lado, el producto ya transesterificado podría utilizarse en la agricultura peri urbana como mejorador de la fertilidad física del suelo o bien como fuente de materia orgánica, lo que es objeto de futuras investigaciones.

Este estudio sugiere la posibilidad de reciclar el residuo del café y de utilizarlo como una alternativa bioenergética más amigable con el medio ambiente y de menor impacto en el cambio climático.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- CANAKEI, M. 2007. The potential of restaurant waste lipids biodiésel feedstocks. *Bioresource tech.* 98: 183-190.
- GERPEN, M. 2005. Biodiésel processing and production. *Fuel process. tech.* 86: 1097-1107.
- KIM, S.; PARK, M.; BAE, K.; RHEE, M. and LIU, J. 1996. Production of pterostematin acid from cells suspension cultures of *Coriandrum sativum*. *Phytochemistry* 42: 1581-1582
- LAMERS, P.; MCCORMICK, K. and HILBERT, J. 2008. The emerging liquid biofuel market in Argentina: Implications for domestic demand and international trade. *Energy Policy* 36: 1479-1490.
- OLIVEIRA, L., FRANCA, A., CAMARGOS, R. and FERRAZ, V. 2008. Coffee oil as a potential feedstock for biodiesel production. *Bioresource techn.* 99: 3244-3250.



# GESTIÓN LOCAL DEL RIESGO, ADAPTACIÓN A LA DINÁMICA DEL CLIMA Y PREVENCIÓN DE DESASTRES. EL CASO DE SANTA FE

*Local risk management, climatic dynamic adaptation and disasters prevention.  
The study of Santa Fe city*

Jessica M. Viand<sup>1,3</sup>, A. Calvo<sup>1</sup> y Claudia Natenzon<sup>1,2</sup>

PIRNA, Instituto de Geografía, FFyL, UBA; <sup>2</sup> FLACSO Argentina; <sup>3</sup> CONICET.  
Puán 480, 4º piso, Buenos Aires. Tel 4432-0606 int.169

www.pirna.com.ar.

jesicaviand@yahoo.com.ar, calmir@sinectis.com.ar, natenzon@filo.uba.ar

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es reflexionar sobre los posibles alcances y limitaciones de la incorporación de la gestión del riesgo en ámbitos urbanos, tomando como caso de estudio el riesgo hídrico en la ciudad de Santa Fe, Argentina. En esta ciudad, como consecuencia de la inundación catastrófica del año 2003, comenzaron a implementarse medidas de gestión del riesgo a escala municipal. El desastre del año 2007 provocado por anegamientos debido a fuertes lluvias, nuevamente generó importantes impactos negativos, lo que demostró las dificultades en la ejecución de un plan de prevención y mitigación de desastres.

La gestión de riesgos brinda la posibilidad de estar preparados ante cualquier evento extremo, previniendo la ocurrencia de desastres emergentes tanto de procesos climáticos actuales como futuros. Tomamos estas premisas como punto de partida, reflexionando a partir de investigaciones concluidas y en avance que corresponden al Proyecto UBACYT F108 (2008-2010), la tesis de licenciatura sobre "El antes del desastre. La construcción social del riesgo en la ciudad de Santa Fe y la inundación del año 2003", y la tesis de maestría sobre "Riesgo, catástrofes y gestión pública en el caso de las inundaciones de Santa Fe". Las fuentes de datos utilizadas incluyen prensa escrita, legislación, Censos Nacionales de población y entrevistas a informantes clave realizadas en trabajos de campo. Su procesamiento responde a la aplicación de técnicas cualitativas y cuantitativas propias de las ciencias sociales.

**Palabras clave:** gestión local del riesgo, prevención de desastres, Santa Fe (Argentina).

## ABSTRACT

The aim of this paper is to do a reflective exercise upon the possibilities and difficulties of risk management in urban areas by studying Santa Fe city, Argentina.

After the catastrophic flood occurred 2003 in Santa Fe, started the implementation of local risk management topics, but in 2007 there was a new episode provoked by heavy rain with negative impacts on the city. This last disaster showed the difficulties to apply a mitigation and prevention of disasters plan.

Local risk management gives the possibility of being prepared to prevent any damages caused by actual climatic extreme phenomenon or climatic change in the future. Base on this premise, we make our reflections from concluded and advanced research as it's follows: Project UBACYT F108 (2008-2010), the graduated thesis "Before the disaster. Social risk construction and Salado's flood 2003" and post graduate thesis "Risk,

disasters and public management. The study of floods in Santa Fe city". The methodology attends to qualitative and quantitative sources of social sciences like local newspapers, legal papers, population census, and interviews with key informants.

**Key words:** local management of risk, prevention of disasters, Santa Fe (Argentina).

## INTRODUCCIÓN

Principalmente desde la década del '90, se ha incorporado tanto en ámbitos científico-académicos como organismos internacionales, la idea de la gestión de riesgos como una herramienta que contribuye a la prevención de desastres. Si bien, las propuestas en esta teoría son sostenidas por muchas organizaciones nacionales e internacionales, aún es muy difícil incorporarlas en el ámbito de la gestión pública.

Este trabajo tiene como objetivo reflexionar sobre los posibles alcances y limitaciones de la incorporación de la gestión del riesgo en ámbitos urbanos, tomando como caso de estudio el riesgo hídrico en la ciudad de Santa Fe, Argentina.

En esta ciudad, como consecuencia de la inundación catastrófica del año 2003, comenzaron a implementarse medidas de gestión del riesgo a escala municipal. El nuevo desastre del año 2007, provocado por anegamientos debido a fuertes lluvias, con importantes impactos negativos, mostraron las dificultades en la ejecución de un plan de prevención y mitigación de desastres.

Estas reflexiones se realizan a partir de investigaciones concluidas y en avance que corresponden a: Proyecto UBACYT F108 (2008-2010), la tesis de licenciatura sobre "El antes del desastre. La construcción social del riesgo en la ciudad de Santa Fe y la inundación del año 2003", y la tesis de maestría sobre "Riesgo, catástrofes y gestión pública en el caso de las inundaciones de Santa Fe". Las fuentes de datos utilizadas incluyen prensa escrita, legislación, Censos Nacionales de población y entrevistas a informantes claves realizadas en trabajos de campo. Su procesamiento responde a la aplicación de técnicas cualitativas y cuantitativas propias de las ciencias sociales.

En un primer punto analizamos algunos aspectos teóricos de la cuestión en relación a la definición de riesgo y su gestión, algunas formas de abordar su análisis y su vinculación con los ámbitos urbanos y la dinámica del clima. Luego en el segundo punto hacemos una breve referencia a la situación de riesgo de la ciudad de Santa Fe y la catástrofe del 2003, para luego concluir el trabajo con algunas posibilidades y aspectos limitantes que queremos destacar respecto a la aplicación de la gestión del riesgo.

### **Gestión local del riesgo, adaptación y prevención de desastres**

A fines de la década de los setenta y comienzos de los ochenta, surge una serie de trabajos académicos con un enfoque de estudio sobre los desastres y su gestión que rechaza la hipótesis "tradicional" de que son causados simplemente por fenómenos naturales (Blaikie *et al.*, 1994). Esta perspectiva pone mayor énfasis en las diferentes formas en las cuales opera la sociedad para generar desastres. Esta nueva conceptualización tiene una base social; es un paradigma "alternativo" al tradicional y considera cómo la sociedad construye o crea las condiciones para el desastre. La visión centrada en explicar los desastres desde su causa en los eventos del medio natural. Desde este modo de abordaje, los desastres han sido presentados como eventos "naturales", inesperados e inmanejables frente a los que la sociedad tiene un rol pasivo, impidiéndose al mismo tiempo, tener una acción activa centrada en la prevención. La visión social surge como una crítica al tratamiento tradicional de la problemática y con una mirada hacia la prevención de desastres, dirigiendo su atención hacia los procesos que llevan al desastre en lugar de lo que sucede cuando éste ha ocurrido. En este nuevo



enfoque, los desastres son explicados como situaciones de riesgo previas construidas por la sociedad. Pero, ¿Qué es el riesgo? El riesgo es la probabilidad de que ocurra un evento natural o tecnológico que produzca daño a la sociedad. Se genera y construye a partir de procesos sociales, económicos y políticos anteriores al desastre, y plantea la posibilidad de daños y pérdidas en el futuro. El desastre es entonces la manifestación del riesgo. Estas condiciones se vinculan con el modelo de desarrollo imperante y en muchos casos plantea la estrecha relación entre desarrollo y desastre.

El riesgo se puede analizar en diferentes dimensiones (Tabla 1):

Tabla 1: Dimensiones para el análisis del riesgo. Fuente: Natenzon (1998)

<b>Peligrosidad</b>	Fenómeno físico natural (inundaciones, terremotos, etc.) o tecnológico (Explosiones, derrames químicos, etc.)
<b>Vulnerabilidad</b>	Aspectos sociales, económicos, culturales e institucionales de la población
<b>Exposición</b>	Bienes e infraestructura
<b>Incertidumbre</b>	Técnica y decisiones políticas

La peligrosidad y vulnerabilidad son las dos dimensiones analíticas más utilizadas para el diagnóstico de riesgo. La *peligrosidad o amenaza*, refiere al fenómeno natural o tecnológico con la potencialidad de efectuar daño. Esta característica es valorada socialmente, ya que un fenómeno de la naturaleza se transforma en “amenaza” solamente si un componente de la sociedad está sujeto a posibles daños o pérdidas (Wilches Chau, 1993; Lavell, 2001.). Estos fenómenos naturales de extraordinaria ocurrencia pueden ser previsibles o imprevisibles dependiendo del grado de conocimiento que se tenga sobre su funcionamiento. Cuanto mayor sea el conocimiento que haya sobre el fenómeno, más capacidad habrá para actuar en relación a él (Romero y Maskrey, 1993; Natenzon, 1998).

La *vulnerabilidad* es definida por varios autores como la propensión de una población determinada a sufrir daño y su capacidad para recuperarse luego de los efectos de un desastre (Blaikie *et. al.*, op. cit; Lavell, op.cit; Natenzon, 2003). Esta vulnerabilidad no es una característica absoluta o estática de una población, sino que resulta de un proceso complejo, dinámico y cambiante que determina que tal grupo social quede expuesto o no a la ocurrencia de un desastre o que tenga más o menos posibilidades de anticiparse y recuperarse (Wilches Chau, op.cit.). Refiere a las características sociales, económicas, culturales e institucionales de la población.

Otras dimensiones de análisis posibles son la *exposición* y la *incertidumbre* (Natenzon, 2002). La primera nos permite analizar las cuestiones territoriales, como la planificación, los usos del suelo y la ubicación de la infraestructura pública y privada. Esta dimensión, a diferencia de la vulnerabilidad, se refiere a la localización de la población respecto a la peligrosidad. Por último, la incertidumbre corresponde con todo lo que no puede ser cuantificado, con lo desconocido. Tanto en los fenómenos potencialmente peligrosos como en la situación de vulnerabilidad de la población, hay aspectos que no se conocen completamente. Por lo tanto, esta dimensión tiene que ver

con situaciones que no pueden ser resueltas a partir del conocimiento existente pero que requieren de una solución inmediata por la importancia de los valores en juego – vidas humanas y bienes materiales- (Ibidem).

¿Qué sucede con los *ámbitos urbanos*? Son los escenarios donde el riesgo adquiere mayor complejidad. Esto se debe a la propia dinámica urbana, con sus altos niveles de concentración de infraestructura y población (Mansilla, 2000; Lavell, 2002). Por la impronta de los procesos que en él dominan, un lugar favorable para la construcción de riesgos y la aparición de desastres (Ríos y González, 2008). Su propio crecimiento y las relaciones complejas que se dan en su interior, con la concentración población (con crecientes y variables niveles de vulnerabilidad social), bienes, infraestructura, etc., la hacen el escenario ideal para la generación de riesgos (Ibidem; Mansilla, op.cit).

En Argentina, las inundaciones son la problemática más recurrente en muchas áreas urbanas. Como ejes clave de este conflicto encontramos que éstas suceden como resultado de la falta de planificación; de situaciones sociales de precariedad que llevan a ocupar áreas desvalorizadas económicamente o construcción de infraestructura que afianza la localización en zonas inundables.

Desde la década del '90 a la actualidad, las acciones realizadas frente a los desastres comienzan a abordarse desde un nuevo enfoque denominado como *Gestión del Riesgo*, cuyo objetivo es la reducción, previsión y control del riesgo de desastre en la sociedad. Según el EIRD la Gestión del Riesgo hace referencia al:

*“Conjunto de decisiones administrativas, de organización y conocimientos operacionales desarrollados por sociedades y comunidades para implementar políticas, estrategias y fortalecer sus capacidades a fin de reducir el impacto de amenazas naturales y de desastres ambientales y tecnológicos consecuentes.”* (EIRD, 2004).

En esta perspectiva, las acciones no son un conjunto de instrumentos puntuales ni están planteadas después de ocurrido el evento, sino que implica comprender el proceso social que provoca las condiciones de riesgo e intervenir antes de que se produzca el evento físico natural o tecnológico. Tomar conciencia del riesgo que se enfrenta permite reducir, prever, considerar los recursos disponibles, diseñar estrategias e instrumentos controlando los riesgos existentes.

Las escalas de intervención pueden ser globales, sectoriales y desde lo macro-territorial hasta lo *local*. Es en este nivel territorial donde claramente se puede llevar adelante un conjunto de estrategias, programas y proyectos que permitan la intervención frente a riesgos específicos; donde se posibilita la aplicación de procesos participativos de los diferentes actores sociales y la articulación de las políticas de los demás niveles territoriales, como puede verse esquemáticamente en la Figura 1.

## Actores para gestionar el riesgo

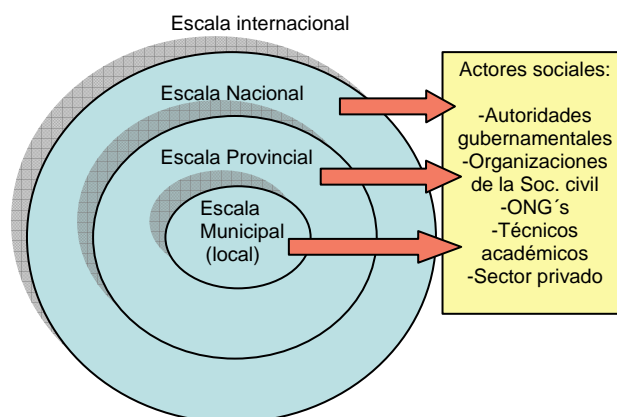


Figura 1: Escalas territoriales y actores sociales en la gestión del riesgo. Fuente: elaboración propia

En base a la revisión de bibliografía perteneciente a la Red Latinoamericana de Desastres y la Estrategia Internacional de Reducción de Desastres (EIRD), para elaborar un plan de Gestión del riesgo es necesario:

-Realizar un diagnóstico de la vulnerabilidad social, con el fin de identificar situaciones de marginación social y económica de la población y así poder contribuir a la delimitación de políticas que permitan su reducción.

-Caracterizar la/s amenaza/s específica/s de ese territorio, a partir del aporte de los institutos de investigación científica, donde no sólo se analice su localización, frecuencia, intensidad, sino también la memoria colectiva de la población sobre ese fenómeno, con el fin de desarrollar sistemas de detección y alerta temprana.

-Elaborar estrategias de comunicación entre los actores civiles e institucionales, desde diferentes organismos del Estado que se ocupan de la gestión, y también en las instituciones gubernamentales con distinta escala de ingerencia (nacional, provincial, municipal), a partir de la estructura institucional, y el nivel de organización con el que se cuenta.

- Trabajar sobre la concientización, capacitación, y educación de la población afectada, teniendo en cuenta a los diferentes actores e intereses, identificando las necesidades y soluciones posibles, y siendo el resultado de procesos participativos de los propios sujetos del riesgo. Es importante que se plantee como una práctica que articule a los actores para actuar integradamente en las dimensiones del riesgo, no como sujetos pasivos receptores de soluciones impuestas desde el gobierno sino a partir de la elaboración de propuestas con la participación de los múltiples actores sociales involucrados. Es este último, el actor que tendría a su cargo el rol central en la implementación de la gestión territorial y por lo tanto también del riesgo.

- Planificar acciones en forma permanente que incluyan: la mitigación, los preparativos ante el impacto del evento físico, la respuesta de emergencia, la rehabilitación y la reconstrucción pos crisis conduciendo en todos estos pasos a la prevención de desastres. Involucrando medidas estructurales como obras de ingeniería (protección de estructuras y de infraestructura) y no estructurales como la planificación urbana, la concientización de la población, los sistemas de alerta temprana para evitar o disminuir el impacto adverso de amenazas naturales o tecnológicas.

En síntesis, la Gestión del Riesgo requiere:

- Reducir, prever y controlar los riesgos existentes y futuros
- Incluir acciones para reducir el riesgo en una planificación del desarrollo
- Intervenir antes que se produzca el evento
- Crear políticas, normas e instrumentos de control legal adecuados
- Disponer de capacidad política para llevar a cabo acciones (negociación y poder de decisión)
- Delimitar niveles de intervención territorial local, regional, nacional e internacional
- Establecer diferentes alternativas y prioridades para reducir el riesgo
- Evaluar los recursos disponibles con los que se cuenta
- Desarrollar estrategias y acciones resolverá realizar
- Tener en cuenta los intereses y necesidades de los diferentes actores sociales y
- Fomentar estructuras organizacionales-institucionales permanentes y consolidadas en el tiempo

*¿Cómo se vincula la gestión del riesgo a la dinámica del clima?*

En la actualidad, los eventos físico naturales que son recurrentes en el tiempo y que se relacionan con variaciones normales del sistema climático, se convierten en una peligrosidad cuyos impactos en las poblaciones pueden producir catástrofes. Esto requiere la elaboración de planes, y llevar adelante acciones en el corto plazo para dar respuesta a estas situaciones.

En este marco la Gestión del Riesgo articula las estrategias de adaptación frente a la variabilidad climática actual o a los cambios que puedan suceder en el futuro, configurando una herramienta central de prevención, mitigación y recuperación para que los decisores políticos y la sociedad civil estén preparados a estos escenarios.

### **Riesgo y gestión en argentina. el caso de la Ciudad de Santa Fe**

La ciudad de Santa Fe es la capital de la provincia homónima y se encuentra ubicada entre el río Salado hacia el oeste, la laguna Setúbal hacia el este, el río Santa Fe e islas hacia el sur y limitando al norte con los municipios de Recreo y Monte Vera. Si bien el análisis se realizó para toda la ciudad, nuestras investigaciones se focalizaron en el sector oeste y sur que corresponde a las áreas que fueron afectadas por la catástrofe del año 2003.

El principal peligro de inundación de la ciudad de Santa Fe son las inundaciones, que pueden deberse tanto a crecidas extraordinarias de los ríos Salado y Paraná como a extremas precipitaciones que provocan el anegamiento de las áreas con cota más bajas. La complejidad de la dinámica hídrica del ambiente físico natural la coloca como una de las ciudades de mayor criticidad hídrica del mundo (ProCIFE, 2005).

Las diferentes políticas de ocupación y las desigualdades sociales en el poblamiento de los barrios del oeste y otras zonas de la ciudad, han llevado a que el proceso de ocupación se transforme en un riesgo, es decir que éste fue y es socialmente construido a lo largo de la historia. Los terrenos del oeste correspondientes a la llanura de inundación del río Salado siempre han sido más bajos e inundables. Estas áreas, debido a sus lotes económicos, eran la opción para sectores socioeconómicos medios para poder adquirir un terreno y construir sus viviendas. Esta ocupación era motivada desde el estado y agentes inmobiliarios (estilo de planificación caracterizada como la cultura de “ganarle tierras al río”), a través del relleno de terrenos y a la construcción de obras de infraestructura para evitar que las crecidas afecten la ciudad. Prácticamente todo su perímetro, a excepción de la zona norte, posee defensas frente a inundaciones.

Este proceso comienza acentuadamente en la década del '30, con la creciente demanda de terrenos generada por las inmigraciones y migraciones internas. El interés por darles valor inmobiliario evitando las recurrentes inundaciones, llevó a la construcción de obras de defensa, afianzando y legitimando de esta manera la ocupación de la zona. Con los años, los episodios de crecidas se iban haciendo cada vez más lejanos y cuando sucedían alcanzaban las zonas aún más bajas cercanas al terraplén del oeste donde los anegamientos eran más frecuentes y fue aquí donde los terrenos no adquirieron valor inmobiliario y se localizaban las familias con menores recursos.

En décadas posteriores y junto con dichas obras, la falta de políticas de ocupación del suelo, la construcción de viviendas por los diferentes planes gubernamentales y la extensión –aunque incompleta– de infraestructura pública, formalizaron la urbanización de gran parte de la ciudad en áreas con peligro de inundación. Aún más preocupante es donde este peligro es muy alto debido a su elevada probabilidad de recurrencia. Como resultado encontramos que en una zona con una importante amenaza de inundación se consolidaba una urbanización formal de sectores medios impulsada por estas medidas y en las zonas más desprotegidas se asentaban sectores bajos de manera informal. Este proceso, de algún modo, aunque simplificado, puede reflejarse en la Figura 2 cuyo significado se explicará en los próximos párrafos.

En las últimas décadas, principalmente desde fines de los '80, con las sucesivas crisis de las economías regionales, cierre de fábricas, comercios y empresas, ha crecido el desempleo y en consecuencia se ha deteriorado la capacidad adquisitiva de sectores socioeconómicos medios y los beneficios sociales del trabajo formal. Los sectores socioeconómicos bajos, que se han visto excluidos del mercado laboral formal, en muchos casos dependen de subsidios del Estado, contribuciones de algunas ONGs y/o la adaptación de sus medios de vida a actividades como el cirujeo, cartoneo (juntar cartones, papeles, etc. para venderlos) y/o cría de algunos animales de granja para poder subsistir. De esta manera, las diferencias sociales en el sector oeste se han acentuado, engrosando un cordón con gran cantidad de población en situación de pobreza estructural, deficiencia de servicios básicos sanitarios, falta de atención en salud, analfabetismo y, como consecuencia, problemáticas como la desnutrición infantil y enfermedades por la mala calidad de vida.

Tomando un diagnóstico de la peligrosidad del río Salado, en 1992 se realizan los estudios para determinar las zonas con peligro de inundación en la ciudad a pedido del Gobierno Provincial. Su finalidad fue la de ser una herramienta para diseñar una normativa adecuada “imponiendo restricciones al dominio de las tierras sin las incertidumbres de la actual legislación” (INCyTH, 1992:1). Al analizar el reglamento de zonificación hacia el año 2003, se observó que esto no fue reglamentado en el municipio.

En cuanto a la vulnerabilidad social, siguiendo la metodología propuesta por Natenzon *et. al.* (1998) y (2005), se seleccionaron indicadores demográficos, económicos y de calidad de vida disponibles en el CNPyV 2001 (Censo Nacional de Población y Vivienda) con la finalidad de sintetizarlos en tres subíndices correspondientes a cada una de estas dimensiones y en un índice de vulnerabilidad social final. Cada indicador da cuenta de aspectos significativos que hacen a la complejidad social, tales como estructura de la población, situación económica, salud, condiciones de infraestructura de servicios y condicionantes de género o por nivel educativo. Los indicadores seleccionados son los siguientes:

### *Demográficos*

1. Población de menores o iguales de 14 años
2. Población de mayores o igual de 65 años
3. Hogares con jefatura femenina

### *Económicos*

4. Población sin cobertura de salud: obra social y/o plan de salud privado o mutual.
5. Población de 10 años o más analfabeta
6. Jefe de hogar desocupado

### *Calidad de Vida*

7. Población en hogares con necesidades básicas insatisfechas ( NBI)
8. Población sin acceso a agua de red al interior de la vivienda
9. Población en viviendas sin conexión a cloacas

(Nota: La escala utilizada para el análisis corresponde a la de mayor desagregación disponible de datos y con menor probabilidad de errores en la disposición de los datos que obtiene el censo: el *radio censal*).

Con el índice de vulnerabilidad se trata de evidenciar las condiciones socio económicas en la “normalidad” y como éstas influyeron en la situación de emergencia en el desastre y luego en la capacidad para la rehabilitación/reconstrucción. Se pretende comprender estas posibilidades y capacidades en las heterogeneidades sociales presentes.

Este análisis sintético del riesgo, con el cruce entre peligro de inundación y vulnerabilidad social se presenta en la Figura 2 a continuación:

Como resultado, podemos observar que la población con más altos niveles de vulnerabilidad social se encuentra en las áreas de mayor peligro de inundación, pero también es posible encontrar niveles medios, lo que muestra la diferencia en los procesos de poblamiento anteriormente mencionados. A modo de síntesis, en la ciudad de Santa Fe, el peor escenario estaba presente (Alta peligrosidad, Más alta vulnerabilidad social), configurando socio territorialmente un alto riesgo de desastres.

### *¿Qué paso en el año 2003?*

El río Salado inundó prácticamente dos tercios de la ciudad al ingresar el agua a través de una defensa incompleta en el sector norte y al encontrar bloqueado su paso por una luz insuficiente del puente AUFE (Autopista Rosario-Santa Fe). El 22 % de la población se vio afectada, 23 personas murieron en el momento y se denuncia la muerte de 130 por causas indirectas; 27.928 viviendas afectadas y pérdidas económicas de más de 200 millones de pesos (CEPAL, 2003; MEDH, 2005).

La crecida del 2003 superó a todas las anteriores y por eso fue considerada extraordinaria. Sin embargo, el efecto de la amenaza natural se vio amplificada por las diferentes obras de infraestructura, transformándose en una amenaza social. El fenómeno de inundación lenta de un río de llanura pasó a ser una crecida de tipo rápida de montaña, con las consecuencias que esto conlleva en las posibilidades de tiempo para la evacuación de la población.

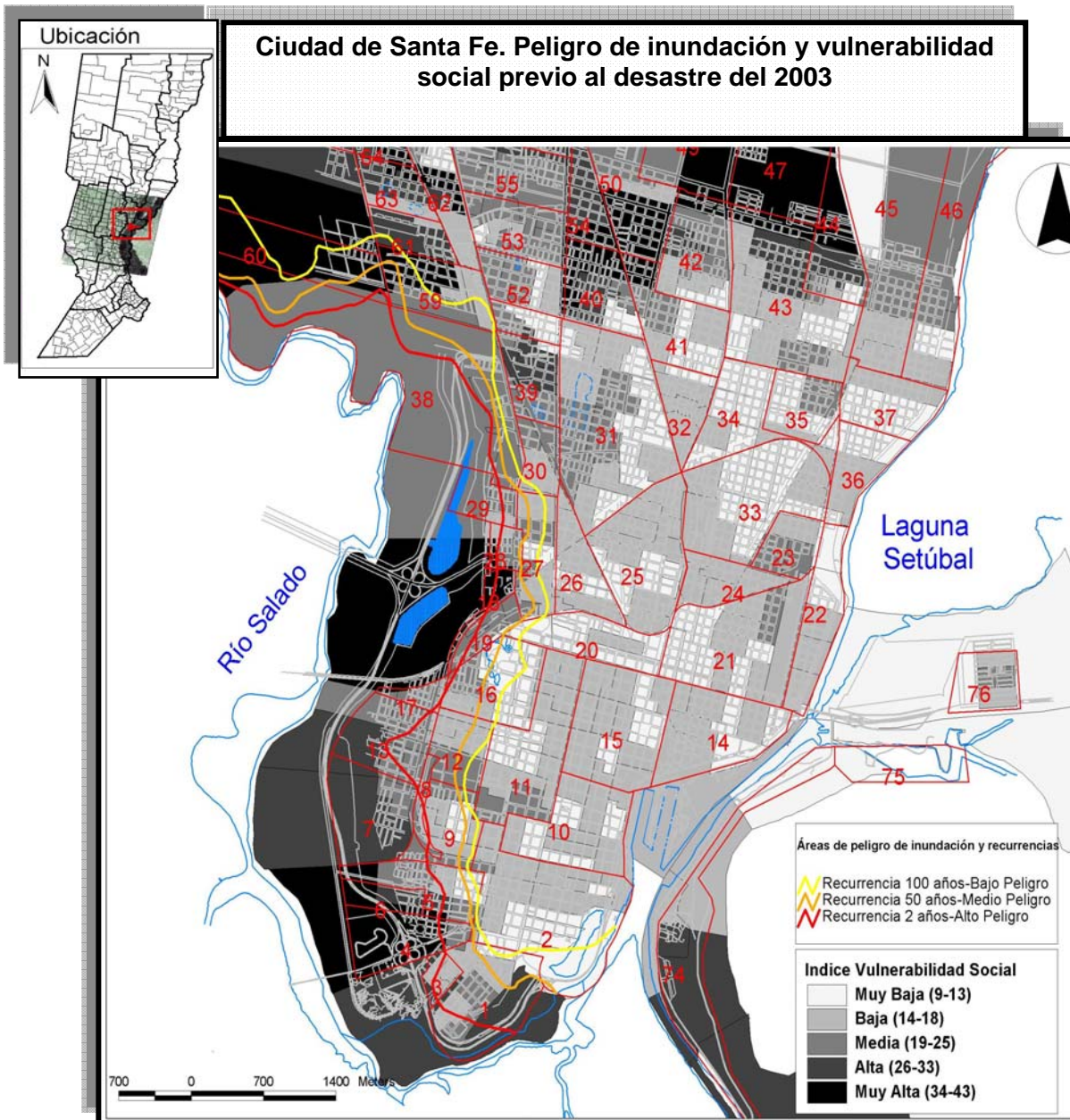


Figura 2. Construcción social del riesgo en la ciudad de Santa Fe. Fuente: Viand (2009) en base a INCyTH 1992 y CNPyV (2001)

Se puede observar la magnitud del evento y el impacto sobre la ciudad en la Figura 3.

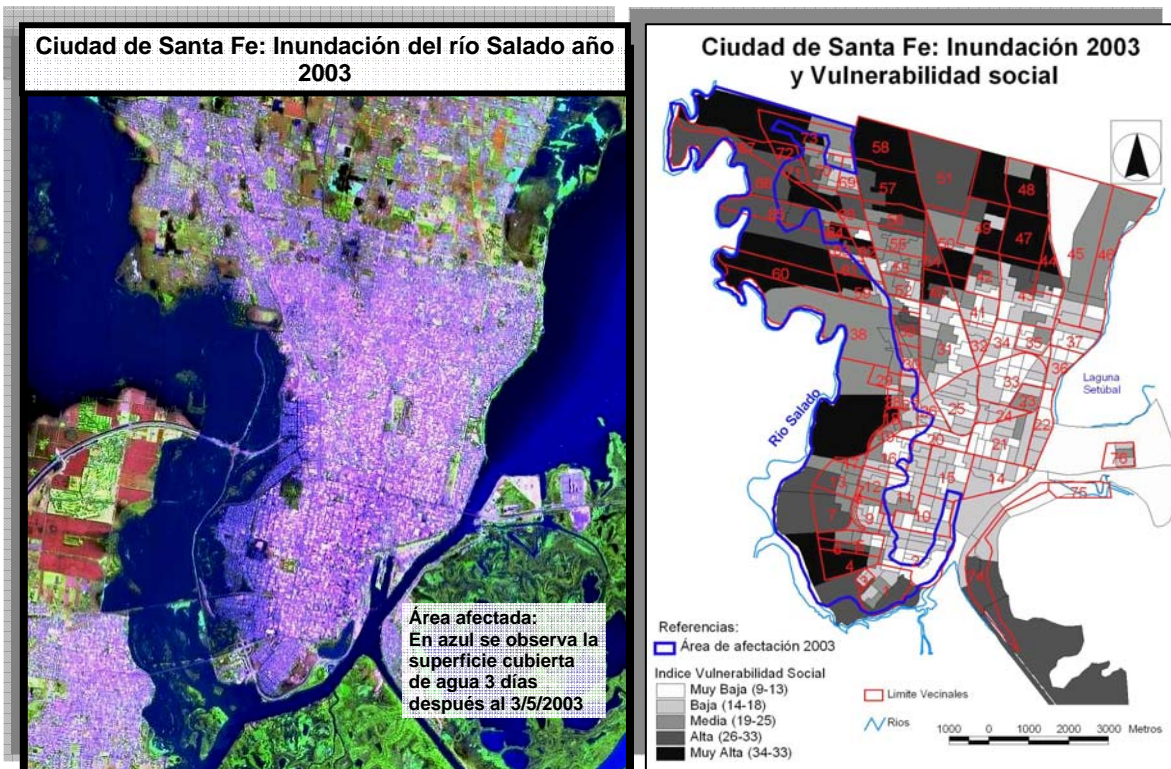


Figura 3: El desastre del 2003 y vulnerabilidad social. Fuente: CONAE (Imagen SPOT 3/5/2003) y Viand (2009).

Independientemente del número de afectados difundidos por el CEPAL, la cantidad de población afectada según nuestro cálculo con datos del Censo de Población del 2001, fue de aproximadamente 122.635 habitantes y según los niveles de vulnerabilidad social encontramos que de estos damnificados (como puede verse en la Figura 3):

- 29 % (35.254 hab.) poseía vulnerabilidad alta y muy alta
- 33 % (41.082 hab.) vulnerabilidad media
- 38 % (46.299 hab.) vulnerabilidad baja y muy baja

Se logra apreciar que gran parte de la población involucrada se mostraba con una alta propensión a sufrir daño y por lo tanto una baja capacidad de recuperación frente a la pérdida, al encontrarse con altos niveles de vulnerabilidad social. Más aún, cuando esta población se encontraba en terrenos con cotas de 12-13 m IGM, donde el agua llegó a más de tres y cuatro metros de altura -ya que la cota alcanzada fue de 17 m IGM- cubriendo por completo muchas viviendas o arrastrándolas. La inundación develó la pobreza y la alta situación de riesgo de muchas familias del oeste. A su vez, en su mayoría, alcanzó sectores con niveles medios y bajos de vulnerabilidad, evidenciando su localización en áreas de peligro. Estos sectores socioeconómicos tendrán problemas en recuperarse principalmente si las condiciones económicas coyunturales dificultan ese proceso.

*¿Quiénes actuaron en la emergencia? y ¿Cómo?*

Aunque la escala local o municipal es en teoría el ámbito territorial donde se materializa la gestión del riesgo, la situación de crisis frente a la inundación excedió este distrito y convocó a instituciones del Estado provincial y nacional. Esto fue necesario para implementar acciones y aportar recursos, conformándose a nivel provincial el Comité de Emergencia Hídrica.



A escala local, los actores institucionales que intervinieron fueron el Intendente, la Secretaría de Promoción Comunitaria, la Secretaría de Asuntos Hídricos Obras y Servicios Públicos, el Concejo Municipal, el Sistema Municipal de Emergencias, COBEM (Centro de Operaciones y Brigada de Emergencia Municipal), y actores sociales como ONG's locales (como Canoa y Cáritas) e internacionales (como la Cruz Roja y Médicos del Mundo), así como agrupaciones de la sociedad civil. Aunque está considerada por ordenanza provincial, la Junta Municipal de Defensa Civil no fue convocada por el Intendente y la oficina de Defensa Civil a nivel municipal tampoco dio respuesta.

Las autoridades nacionales, provinciales y municipales consideraron a la inundación de Santa Fe como un evento "natural" extraordinario que no podía ser controlado. Esta perspectiva colocó al evento hídrico como causa del desastre, bajo un discurso que desligaba de responsabilidad a funcionarios y políticos. Se evidenció la falta de atención a los estudios desarrollados por los organismos científico-técnicos que analizaban las condiciones de peligrosidad del río, produciendo una desarticulación entre instituciones del Estado de distinta índole (técnico-profesional, científico y de gestión pública).

Las acciones de emergencia fueron reactivas, fragmentadas y coyunturales, lo que demostraba la falta de planes previos de evacuación o de contingencias y de organización de la población durante la emergencia. Las autoridades argumentaron que las tareas de prevención no se llevaron a cabo por falta de recursos económicos. Las tareas de los diferentes organismos del Estado no estaban coordinadas; sus intervenciones se superpusieron o dejaron "vacíos" entre las instituciones nacionales, provinciales y municipales, además de una carencia de responsabilidad frente a las acciones u omisiones realizadas.

Durante la emergencia se utilizaron recursos económicos extraordinarios aportados por el Estado Nacional, por otros Estados o por instituciones internacionales. El gobierno provincial y municipal aplicó una lógica política clientelística en la catástrofe, desvirtuando la ayuda solidaria nacional e internacional, al retener las donaciones, o desviarlas para fines electorales. La inacción del gobierno fue resuelta por la sociedad civil que se organizó y dio respuesta a la emergencia.

Los inundados fueron vistos desde el Estado como sujetos pasivos, no como sujetos del riesgo. Se producen desajustes en la comunicación entre el Estado y la población. El anuncio del intendente de la ciudad, pidiendo a los barrios del suroeste que se quedaran en sus viviendas cuando horas después el agua ingresaba con fuerza en estos lugares, mostraba un desconocimiento sobre el peligro de la zona y la confianza puesta en las obras de defensa.

Inmediatamente pasada la inundación, se planteó resolver el problema de la inundación a través de medidas estructurales (obra de ingeniería), como terminar la construcción del terraplén, la ampliación de la luz del puente sobre el río Salado, pero no se apuntó a medidas no estructurales como, por ejemplo, el establecimiento de normativas para regular el uso del suelo en áreas inundables o el mejoramiento de la comunicación social del riesgo.

Esta síntesis del momento de la catástrofe muestra la falta de atención a la información previamente generada y la imprevisión para actuar en situaciones de evacuación frente a inundaciones por parte de los tomadores de decisión, la inconstante manutención de las mediciones hidrológicas, el tercer tramo de la defensa oeste sin terminar, la progresiva ocupación de áreas de inundación sin regulación de usos del suelo -y con medidas que acompañen su cumplimiento (planes de viviendas, construcciones sobre palafitos, etc.)- imposibilitaron la planificación tendiente a mitigar el riesgo de inundación del río Salado y manejar situaciones de emergencia como la que se hizo presente.

*La aplicación de gestión del riesgo en el “Después”.*

Luego de lo sucedido, en el 2005 se puso en funcionamiento la Subsecretaría de Gestión del Riesgo con la finalidad de llevar a cabo la organización de un Plan de Contingencia en la ciudad de Santa Fe. El surgimiento de una oficina pública con esta visión pareció demostrar el comienzo de la aplicación, en el marco de la gestión pública, de las llamadas “medidas blandas” para la prevención de desastres. Dicho plan se aplicaría para el sector de La Costa y la zona oeste de la ciudad de Santa Fe (Entrevistas SGR, 2006). Las primeras actividades que comenzaron fueron mapeos de las posibles vías de escapes o evacuación y selección de áreas que servirían de refugio durante la inundación. Esto fue acompañado con la capacitación de vecinos en los centros comunitarios de algunos barrios de la zona oeste (Ibidem, 2006).

En abril del año 2007 se produjo un nuevo desastre en la zona sur y oeste producto de anegamientos por fuertes precipitaciones. El plan de contingencia no fue utilizado en la práctica. Los vecinos no fueron avisados, ni conocían hacia que lugares podían evacuar (Storero, 2007). Todavía no se había logrado el cometido de dicha Subsecretaría.

Actualmente, el cambio de gestión municipal y al cabo de dos experiencias de desastre -por inundación (2003) y por anegamientos (2007)-, se observa una mayor intensidad en las actividades para lograr un sistema de evacuación. Este está aún a la espera de que un evento hidroclimático lo ponga a prueba.

### **Dificultades para gestionar el riesgo hoy. Reflexiones: alcances y limitaciones**

La experiencia ocurrida en el año 2003 y luego en el 2007 y el avance de nuestra investigación sobre las acciones emprendidas en la actualidad nos llevan a finalizar este trabajo con algunas cuestiones que nos permiten señalar algunas cuestiones referidas a la ejecución de la gestión del riesgo a escala local.

Una posibilidad que se presenta, es la misma situación de crisis en sí. Esta experiencia debe ser canalizadora para un cambio en la lógica de las acciones aplicadas en esta materia.

La población adquirió conocimiento sobre los riesgos de su ambiente que antes del 2003 no poseía. Esto puede ser un elemento para accionar mayor participación en la toma de decisiones frente a la problemática, lo cual es clave a la hora de discutir algunas propuestas de gestión para la prevención, como la relocalización o la modificación de las condiciones constructivas (por ejemplo, la adopción de palafitos en áreas inundables).

A pesar de ello, sin embargo, se presentan las siguientes dificultades para ejecutarlas, tanto desde el Estado como de la sociedad civil:

Desde la sociedad civil,

- Hay un descreimiento general de las acciones de las autoridades del gobierno. Hay una falta de participación democrática de los ciudadanos que se hace fundamental en el desarrollo de planes de contingencia. El ciudadano, está cansado de que le mientan las autoridades, pero además supone que el Estado es el que se tiene que ocupar del problema. Dificultades en la comunicación.
- Falsa sensación de seguridad con la presencia de terraplenes
- Vulnerabilidad social: la amenaza de inundación es un aspecto más en el marco de problemas de desempleo, pobreza, informalidad económica, legal. Los sectores de bajos recursos se instalan en zonas bajas inundables.
- Intereses inmobiliarios sobre tierras fiscales.

Desde el estado y sus diferentes escalas administrativas,

- La Población afectada es tomada como sujeto pasivo receptora de soluciones y en la mayoría de las cuestiones no es involucrada su participación en las decisiones.
- Dificultades en la comunicación entre Estado y otros actores sociales.
- Falta de continuidad en las políticas de planificación urbana.
- Coexistencia de diferentes jurisdicciones (provincial y municipal). Dificultades de las diferentes instituciones del Estado para planificar conjuntamente desde lo sectorial, social y territorial.
- Formalización de lo informal: se extienden los servicios urbanos a los pobladores que ocupan zonas inundables (no hay restricciones en el uso del suelo), se permite ocupar, rellenar.
- Ausencia de planes de ordenamiento territorial y de controles sobre la localización de viviendas e infraestructura.
- Débil capacidad de gestión: ausencia de un marco legal, o bien de coherencia entre la gestión del riesgo y la planificación de la ciudad en su conjunto.

Consideramos que comenzar a señalar o reconocer estas dificultades nos permite encaminar las propuestas hacia soluciones que permitan en un futuro el éxito de estas propuestas hacia la prevención de desastres.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BLAIKIE, P.; CANNON, T.; DAVIS, I. y WISNER B. 1998. Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres. LA RED/ ITDG. Bogotá, Colombia.
- BRONSTAIN, P. 2004. Análisis de los aspectos hidrológicos e hidráulicos de la crecida del Río Salado de abril / mayo de 2003. Informe final. Santa Fe.
- CEPAL. 2003. Evaluación del impacto de las inundaciones y el desbordamiento del río Salado en la provincia de Santa Fe, República de Argentina en 2003. Comisión Económica para América Latina y el Caribe -Naciones Unidas, LC/BUE/L185. Santiago de Chile, Chile.
- DOCUMENTO DE ONGS. 2005. *Sobre personas fallecidas y con secuelas a consecuencia de la inundación*. Organizaciones: Madres de Plaza de Mayo de Santa Fe. Familiares de Detenidos y Desaparecidos por razones políticas. Movimiento Ecuaménico por los Derechos Humanos (M.E.D.H.). Acción Educativa. CANOA
- DPOH. 2003. *Informe de las áreas técnicas de la Dirección Provincial de Obras hidráulicas de Santa Fe sobre la crecida del año 2003*. Tomo I. Ministerio de Asuntos Hídricos, Santa Fe.
- EIRD. 2004. Anexo I: Términos principales relativos a la reducción del riesgo de desastres. Vivir con el Riesgo Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres. Estrategia Internacional de Reducción de Desastres, Organización de Naciones Unidas.
- FICH .2003. *La crecida extraordinaria del Río Salado. Causas Naturales y antrópicas que provocaron la inundación de la ciudad de Santa Fe*. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad del Litoral.
- INA. 2004. *La cuenca del río Salado y la crecida de abril del 2003*, Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires.
- INCyTH. 1992. *Delimitación de áreas de riesgo hídrico en Santa Fe. Tomo II. Sistema Salado*. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas-Consejo Federal de Inversiones.
- MANSILLA, E. 2001. Riesgo y Ciudad. Universidad Autónoma de México, División de estudios de posgrado, Facultad de Arquitectura. D.F. México.

- MSF. 1980. Plan Director. Secretaria de Obras Públicas, Dirección de Planeamiento Urbano y Proyectos, Municipalidad de Santa Fe de la Veracruz. Santa Fe, Argentina.
- MSF. 2007. Santa Fe 2010. Visión de la ciudad y Plan Urbano. Secretaria de Planeamiento Urbano, Municipalidad de Santa Fe de la Veracruz. Santa Fe, Argentina.
- NATENZON, C. 1998. Riesgo, vulnerabilidad e incertidumbre. Desastres por inundaciones en Argentina. Ponencia presentada en Seminario: Problemas ambientales e vulnerabilidades. Abordagens integradoras para o campo da saude publica. 25 de junio, 1998, Río de Janeiro, Brasil.
- NATENZON, C. 2003. Inundaciones catastróficas, vulnerabilidad social y adaptaciones en un caso argentino actual. Cambio climático, elevación del nivel medio del mar y sus implicancias”, en *Climate Change Impacts and Integrated Assessment EMF Workshop IX*, July 28 - August 7, Snowmass, Colorado.
- ProCIFE. 2005. Convenio de Asistencia Técnica: Plan urbano Santa Fe. Municipalidad de la ciudad de Santa Fe –Programa de Cooperación Interinstitucional Frente a la Emergencia. Santa Fe, Argentina.
- RÍOS, D. y GONZÁLEZ, S. 2007. Espacio urbano y riesgo de desastres en áreas inundables. Dos casos de estudio para el centro y la periferia del Aglomerado Gran Buenos Aires. En *Curso de postgrado Tratamiento de catástrofes en condiciones subdesarrolladas. Riesgo, vulnerabilidad social e incertidumbre FLACSO*, Buenos Aires.
- STORERO, G. 2007. Ante la contingencia, no hubo plan” [www.parlamentario.com](http://www.parlamentario.com) 16/4/2007.
- VIAND, J. 2009. El antes del desastre. La construcción social del riesgo y la inundación del 2003. Mimeo.

# LOS FONDOS AMBIENTALES UNIVERSALES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.

*The Universal Environmental Funds and the global climate change*

**Alberto César Moreira**

Facultad de Derecho de la Universidad Nacional de Mar del Plata.  
Asociación Argentina de Derecho Internacional (AADI).  
Sociedad Latinoamericana para el Derecho Internacional (SLADI-LASIL),  
Grupo de Estudio Medio Ambiente.  
Matheu 5250, 7600 Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.  
albertocmoreira@hotmail.com

## **RESUMEN**

El trabajo tuvo como objetivos: explorar las oportunidades que brindan los Fondos Ambientales de carácter universal que financian proyectos de mitigación y de adaptación, identificar fragilidades del sistema y proponer cursos de acción para perfeccionar la actual arquitectura financiera.

Se analizaron: el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, poniendo especial atención en el área focal correspondiente, los Fondos Especiales creados en virtud del Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Fondo de Adaptación establecido por el Protocolo de Kioto.

Se practicó una revisión bibliográfica del derecho internacional del medio ambiente y de los fondos ambientales en sus distintos niveles, así como un seguimiento de las negociaciones y decisiones adoptadas por organismos y órganos internacionales. Se compararon dichos fondos universales atendiendo a: estructura, integración, modalidad, criterios de selección, ciclo de proyectos, monitoreo y evaluación; se entrevistaron a responsables de puntos focales y beneficiarios; se preparó un estudio de caso para transitar el circuito de un proyecto y se confeccionaron cuadros estadísticos de asignación de recursos.

Puede concluirse que los fondos ambientales se consolidan como instrumentos imprescindibles para enfrentar el cambio climático global. En ellos se constata un enfoque *holístico* del medio ambiente y se identifica la aplicación de principios rectores: la soberanía del Estado en la explotación de sus recursos naturales y en el diseño de sus políticas ambientales, la responsabilidad común pero diferenciada de los Estados y el desarrollo sustentable como paradigma a seguir.

El área focal Cambio Climático exhibe un crecimiento cuantitativo e innovador en materia de fondos que, lamentablemente, no se corresponde con el necesario incremento de recursos. Se propone apoyar la inmediata puesta en marcha del Fondo de Adaptación, ampliando las fuentes de recursos, y profundizar sobre la conveniencia de establecer un Fondo Global para el Cambio Climático, basado en un mecanismo de integración obligatorio.

**Palabras clave:** cambio climático, mitigación, adaptación, financiamiento, fondos ambientales.

## **SUMMARY**

This work had as objectives, the exploration of the opportunities provided by the universal environmental funds that finance mitigation and adaptation projects; the

identification of certain weaknesses in the system and to propose courses of action in order to improve the current financial architecture.

The Global Environmental Fund was analyzed, in particular the climate change focal area; the two Special Funds created under the United Nations Framework Convention on Climate Change and also the Adaptation Fund, established by the Kyoto Protocol.

A bibliographic review of International Environmental Law was made, as of the environmental funds at the different levels. The negotiations and decisions adopted by international organizations and organs were monitored. The international funds were compared according to their structure, integration, modality, selection criteria, projects cycle, monitoring and evaluation. Focal points responsible and recipients were interviewed. A study of cases was prepared in order to follow the project cycle and statistical tables for resources allocation.

It can be concluded that the environmental funds have consolidated themselves as a necessary tool in order to overcome the climate change. In them there can be found a *holistic* approach, as well the application of main principles: the state sovereignty in the exploitation of its natural resources, the common but differentiated responsibility of the States and the sustainable development.

The Climate Change focal area exhibits a quantitative and innovative growth in matter of funds, but unfortunately, it is not matched by the necessary increase in resources. It aims to support the immediate implementation of the Adaptation Fund, expanding the financial resources, and analyzes the advantages of establishing a Climate Change Global Fund, based on a compulsory integration mechanism.

**Key words:** climate change, mitigation, adaptation, financing, environmental funds.

## INTRODUCCIÓN

La crisis climática mundial, sobre cuya existencia y gravedad existe consenso científico, ha colocado a la comunidad internacional en una encrucijada de la que sólo podrá salir a través de la cooperación y del esfuerzo coordinado.

La dimensión global de los efectos del cambio climático se instala en un mundo asimétrico en términos de desarrollo y oportunidades y escaso en recursos. Los países más vulnerables a estos impactos adversos suelen ser los más pobres y quienes se encuentran en peores condiciones de adaptación.

El gran desafío es compatibilizar estos dos aspectos: la lucha contra el cambio climático y el legítimo derecho de todos los Estados a lograr un desarrollo aceptable en términos de sustentabilidad.

Tal como afirma la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL 1991), el logro del desarrollo sustentable depende de la disponibilidad neta de recursos financieros, de la formulación de nuevos instrumentos de financiamiento y de cambios necesarios en los estilos de inversión.

Se ha estimado que programas de mitigación y de adaptación al cambio climático en los países en desarrollo requerirían fondos nuevos y adicionales por cientos de miles de millones de dólares anuales (Stern, 2008).

En este contexto complejo e interrelacionado, los Fondos Ambientales internacionales constituyen un modo de hacer posible la cooperación y una de las herramientas imprescindibles para llevar a cabo las acciones que contribuyan a logro del desarrollo sustentable.

## LOS FONDOS AMBIENTALES

### Caracterización

Es difícil, sino imposible, brindar una definición que comprenda a todos los Fondos Ambientales, debido a la multiplicidad y variedad de instrumentos existentes. En términos generales, puede sostenerse que son mecanismos financieros que permiten, por un lado, atender a la reparación del daño ambiental y, por el otro, implementar las políticas, estrategias y programas tendientes a preservar el medio ambiente.

Si bien existen antecedentes que se remontan a principios del siglo pasado (Remond-Gouilloud, 1992), en las últimas décadas asistimos a una multiplicación de estos instrumentos en los distintos niveles.

### Clasificación

Varios criterios pueden adoptarse para clasificar a los Fondos Ambientales: por su función, su ámbito de aplicación, la integración de los recursos, entre otros.

Teniendo en cuenta la función para la cual fueron creados, los Fondos pueden ser: de indemnización o reparación y de implementación de políticas, planes y proyectos ambientales. Debemos reconocer, no obstante, que existen instrumentos que poseen ambas funciones, aunque es posible identificar a una de ellas como central como el propósito central o principal.

Por su parte, en atención al ámbito de aplicación, los Fondos pueden ser nacionales, regionales, a nivel comunitario o de carácter universal (Verneti, 2001; 2006).

#### a) Los Fondos Ambientales de reparación

Los Fondos de reparación o indemnización son una institución propia del Derecho de Daños. Tienen por fin hacer posible la reparación debida a la víctima, sobre la base de repartir la carga relativa a un riesgo determinado (De Miguel Perales, 1993).

En materia ambiental, su objeto puede apuntar tanto a reparar los daños causados a las víctimas, como a recomponer el medio ambiente dañado. Los recursos pueden ser aportados directamente por los Estados o por los explotadores que llevan a cabo determinada actividad.

Di Paola señala que: *“El sistema puesto en vigencia en los EE.UU. mediante la creación del “superfondo” es quizás el caso más notorio de la creación de un fondo específicamente diseñado para remediar predios contaminados como consecuencia de largas décadas de uso y actividades industriales”* (Walsh et al, 2000).

Estos mecanismos de reparación pueden revestir el carácter de subsidiarios (puede acudir a ellos cuando el agente causante es desconocido o conocido pero insolvente), por subrogación (la víctima se encuentra facultada para reclamar directamente al Fondo, que se subroga en los derechos y acciones contra el responsable o agente) y/ o complementarios (que operan cuando el régimen legal de responsabilidad civil presenta una limitación cuantitativa (Verneti, 2001, 2006). A modo de ejemplo, el Fondo Internacional creado por la Convención de Bruselas de 1971 actúa en forma subsidiaria cuando el buque causante de la contaminación petrolera es incapaz patrimonialmente de asumir sus responsabilidades o cuando el daño es causado por un acontecimiento que reviste las características de un caso fortuito o fuerza mayor (Remond-Gouilloud, 1994).

#### b) Los Fondos de implementación de políticas ambientales

En términos generales, estos instrumentos tienen por objeto hacer posible la implementación de las políticas y diseños ambientales en los distintos niveles de gestión.

Los Fondos internacionales, que suelen coordinarse con otras herramientas de financiamiento, posibilitan el cumplimiento de los compromisos asumidos por los

Estados y permiten alcanzar los objetivos fijados en los instrumentos internacionales de alcance global. Dichos organismos, al estar integrados por Estados, se rigen por principios y enfoques que forman parte del ordenamiento jurídico internacional.

A través de estos mecanismos, los Estados desarrollados, cuya participación en la producción de la contaminación ha sido y suele ser mayor, proveen recursos financieros para implementar políticas y proyectos en los Estados de menores recursos. Esto permite transformar las iniciativas nacionales para que reporten beneficios a escala global, haciéndolos compatibles con las necesidades de sustentabilidad. Recientemente, también pueden observarse instrumentos en los cuales el requisito de beneficio global no es exigido. Se trata de situaciones de extrema vulnerabilidad, por lo que financian proyectos urgentes de adaptación a los efectos adversos producidos en el ambiente.

Los Fondos de implementación deben visualizarse como instituciones que, además de canalizar recursos financieros, pueden desempeñar numerosos papeles: desarrollar programas de sensibilización de la población sobre la problemática ambiental, participar con actores clave en el desarrollo de estrategias nacionales de conservación, actuar como expertos técnicos que puedan trabajar con agencias públicas y privadas, contribuir al desarrollo de las capacidades nacionales y brindar asesoramiento técnico y transferencia de tecnología.

### **Los fondos ambientales universales - enfoques y principios centrales**

Como se ha dicho, los Fondos internacionales de carácter universal están integrados por Estados y son una expresión del multilateralismo y la cooperación internacional. Gozan de una subjetividad funcional que hace posible el logro de sus propósitos y cuentan con una estructura institucional que atribuye competencias a sus órganos.

El necesario equilibrio dentro de estos mecanismos, que se insertan en el marco de un derecho de coordinación como es el derecho internacional, reposa sobre ciertos principios y enfoques que informan su estructura y funcionamiento.

La práctica de los Estados, así como los antecedentes jurisprudenciales, demuestran que el derecho internacional ambiental se sustenta sobre unos pocos principios generales (Cassese, 2005). El contenido y, en algunos casos, su consolidación como principio jurídico, encuentran resistencia y generan debate en la doctrina, aún cuando en el ordenamiento interno de algunos Estados pueda estar recogido como norma vinculante.

Por tal razón, en algunos supuestos, la doctrina prefiere referirse a un enfoque o criterio, lo que implica reconocerlo como una pauta o conducta a seguir, pero que no ha alcanzado el grado de cristalización que permita considerarlo como una obligación jurídica. Un ejemplo de ello es el criterio precautorio, de tanto predicamento en el derecho interno y que, no obstante, es objeto de gran debate en el plano internacional (Cassese, 2005; Tripelli, 2008).

Efectuada dicha aclaración, a los fines del análisis que nos ocupa, habremos de referirnos sólo a aquellos enfoques y principios que consideramos centrales en materia de Fondos Ambientales de carácter universal.

La soberanía del Estado en la explotación de sus recursos naturales, conforme a sus propias políticas ambientales y de desarrollo

Este principio encuentra antecedentes en numerosas resoluciones de la Asamblea General de Naciones Unidas, entre las que se destaca la Resolución 1803 del año 1962. Más tarde, fue formulado en la Declaración de Estocolmo de 1972 (principio 21) y en la de Río de 1992, en donde se incorpora la visión del desarrollo.

*“Principio 2: De conformidad con la Carta de Naciones Unidas y los principios del derecho internacional, los Estados tienen el derecho soberano de aprovechar sus propios recursos según sus propias políticas ambientales y de desarrollo, y la responsabilidad de velar porque las actividades*



*realizadas dentro de su jurisdicción o bajo su control no causen daños al medio ambiente de otros Estados o de zonas que estén fuera de los límites de la jurisdicción nacional”*

Resulta fácil observar la aplicación de este principio en los Fondos Ambientales, en donde los proyectos deben contar con el apoyo del Estado receptor (principio de iniciativa nacional) y ser compatibles con las prioridades nacionales fijadas por éste.

El respeto de este principio, sumado al reparto equitativo en la asignación de fondos y a pautas claras en los criterios de selección de los proyectos, evitará que los Fondos sean utilizados por los Estados donantes como instrumentos de presión para imponer sus propias políticas.

### **La dimensión global de los problemas ambientales y la necesidad de la cooperación internacional**

El derecho internacional experimentó un tránsito desde la sectorización hacia la globalización en el tratamiento de los problemas ambientales (Daillier y Pellet, 2005). La Cumbre de Río de 1992, sin dudas, constituyó un hito en ese camino y proporcionó un vigoroso impulso al proceso iniciado en Estocolmo dos décadas antes.

Lo cierto es que a partir de Río de 1992, como nunca antes, se reconoció la necesidad de enfrentar los problemas ambientales actuales y futuros desde una concepción global, dado que no será posible resolverlos sin la cooperación de todos los Estados y demás sujetos, así como la participación de otros “actores” de la realidad internacional.

Este enfoque, que se adopta en todos los documentos aprobados en Río de 1992, acepta que el impacto del deterioro ambiental proyecta sus efectos más allá de la fuente de emisión, por lo que propone la adopción de marcos regulatorios basados en una visión sistémica u *holística* del medio ambiente. Esta visión se encuentra indisolublemente unida al principio del desarrollo sustentable.

### **El desarrollo sustentable**

El concepto del desarrollo sustentable fue concebido en el Informe Brundtland (*Our Common future*) y consolidado en la Conferencia de Río de 1992. Se lo define como aquel que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. Responde a la necesidad de un modelo equitativo que integre los aspectos de protección ambiental con los criterios económicos y sociales, cada vez más interdependientes.

Según Leonardo Pastorino, el principio del desarrollo sustentable:

*“se vincula a otros principios generales como el de cooperación, solidaridad - entre generaciones, entre pueblos - y la idea de “pensar global”. De nada sirve pensar en un modelo sostenible para cierta región del planeta, si éste se sostiene con modelos insostenibles en otras áreas. Esta idea, aunque parezca elemental, recién se comienza a esbozar e internacionalizar en las regiones “privilegiadas” por un desarrollo económico mayor, y es el fundamento de los debates que se dieron en la última Cumbre de Johannesburgo” (Pastorino, 2005).*

A partir de la adopción de este paradigma, se introduce en el derecho ambiental la visión de sustentabilidad, ampliándose sus contenidos primeros, es decir la conservación de la naturaleza y la lucha contra la contaminación. El desarrollo sustentable presenta, al menos, cuatro dimensiones interrelacionadas que deben evolucionar de manera simultánea: económica, humana, ambiental y tecnológica (Coria, 1997).

### **La responsabilidad común pero diferenciada de los Estados en orden al grado de desarrollo y a su contribución a la degradación del ambiente.**

Este principio, cuyo contenido y alcance se debaten actualmente en las negociaciones preparatorias de la Cumbre de Copenhague, constituye el eje en torno del cual se estructuran las normas internacionales referidas al cambio climático y, en particular, a los fondos ambientales que financian proyectos en esta área focal.

La responsabilidad común y compartida de los Estados en el cuidado del medio ambiente admite un trato diferenciado, con fundamento en el grado de desarrollo económico y en la contribución histórica y presente a la contaminación.

El principio 7 de la Declaración de Río de 1992 expresa:

*“los países desarrollados reconocen la responsabilidad que les cabe en la búsqueda internacional del desarrollo sustentable, en vista de las presiones que sus sociedades ejercen en el medio ambiente mundial y de las tecnologías y recursos financieros de que disponen.”*

De su formulación surgen dos elementos esenciales: la responsabilidad común de los Estados de proteger el ambiente o parte de éste a nivel nacional, regional o global, y la necesidad de tener en cuenta diversas circunstancias tales como la manera en que cada Estado contribuyó en la creación de un problema ambiental y su capacidad para reducirlo o controlarlo. Esto se traduce en la tendencia a fijar estándares internacionales que impongan diferentes obligaciones a los Estados (Tripelli, 2008).

## **LOS FONDOS UNIVERSALES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL**

### **El fondo para el medio ambiente mundial**

El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), más conocido como GEF por su sigla en inglés (*Global Environmental Facility*), es un instrumento financiero de carácter universal que proporciona fondos a los Estados en desarrollo o con economías en transición, para cubrir los costos incrementales de proyectos tendientes a proteger y utilizar racionalmente el medio ambiente.

Participan en el mismo 176 Estados, de los cuales 32 son donantes y el resto países en vías de desarrollo o con economías en transición, que pueden obtener cofinanciamiento para proyectos ambientales en seis áreas focales: biodiversidad, cambio climático, aguas internacionales, degradación de la tierra, capa de ozono y contaminantes orgánicos persistentes.

Al basarse en una integración voluntaria de recursos, su capacidad operativa depende de una exitosa ronda de negociaciones. La cuarta reposición de los recursos del Fondo Fiduciario del FMAM fue aprobada por la suma de 3.130 millones de dólares para el período 2007/2010 (Doc. GEF/C.29/3). Actualmente, se encuentran en pleno proceso las rondas de negociaciones para la quinta reposición de fondos.

El FMAM fue reconocido en la Agenda 21 como el instrumento idóneo para alcanzar sus objetivos (TÖPFER, 1997) y mencionado como el mecanismo financiero del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMCC, art. 21).

En su actual estructura, el FMAM cuenta con los siguientes órganos: el Consejo, la Asamblea, la Secretaría y el Grupo Asesor Científico y Tecnológico. Además, lleva a cabo sus actividades en coordinación con tres Agencias de Implementación, siete Agencias de Ejecución y con los Centros Coordinadores o Puntos Focales ubicados en cada uno de los países receptores.

El órgano gubernamental, organización no gubernamental, institución educativa o empresa del sector privado de un país elegible puede proponer un proyecto a alguna de las Agencias de Implementación. Es importante destacar que se aplica el principio operacional “iniciativa de los países”, es decir que las propuestas deben contar con el apoyo del Estado beneficiario respectivo.

El financiamiento del FMAM se dirige a la formulación de proyectos o a la ejecución de los mismos, los que se dividen en bloques o categorías teniendo en cuenta el monto cofinanciado. Para que una propuesta obtenga recursos del Fondo debe llevarse a cabo en un país elegible, referirse a alguna de las esferas de actividad o áreas focales y ser compatible con las prioridades y programas nacionales.

La modalidad de cooperación utilizada se denomina “costos incrementales”. En términos generales, el FMAM cubrirá los mayores costos que se agregan a un proyecto nacional (línea de base), a fin de que sus resultados se traduzcan en un beneficio ambiental a escala global. Es decir, financiará el costo adicional que genera transformar el procedimiento para obtener un impacto de protección mundial.

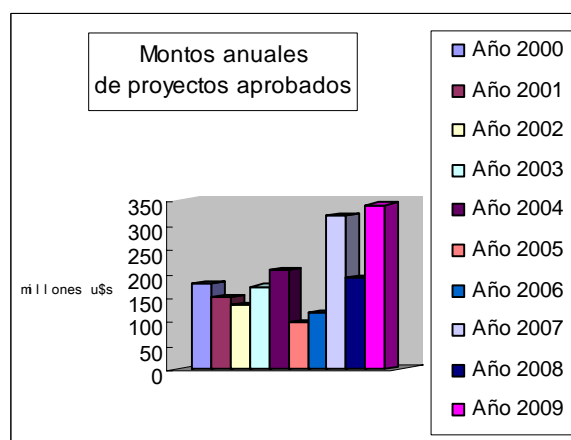
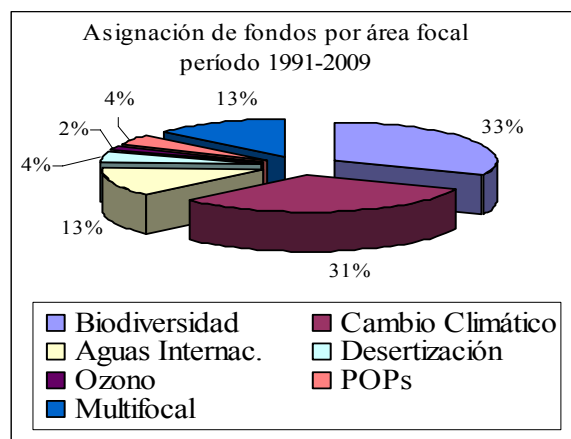
Resulta difícil la determinación de los costos incrementales, así como la evaluación del beneficio global del proyecto. Una aplicación demasiado estricta puede dejar afuera de las posibilidades de recursos a propuestas imprescindibles para algunos países.

En lo que respecta al área focal cambio climático, siendo que el FMAM actúa como mecanismo financiero del CMCC, debe proceder de conformidad con las directivas y prioridades fijadas por el órgano plenario de ésta, la Conferencia de Estados Partes (COP).

El FMAM destina alrededor de 250 millones de dólares anuales a la lucha contra el cambio climático, siendo la segunda área focal, luego de Biodiversidad, en volumen de fondos movilizados. A la fecha, se han aprobado más de 600 proyectos, sin considerar aquellos calificados como multifocales (fuente: *basedate* [www.gefew.org](http://www.gefew.org)).

Por otra parte, un análisis de la evolución en la asignación de fondos en proyectos durante los últimos años, demuestra un incremento significativo.

A ello, se agrega la creación de los dos Fondos Especiales, que se refieren en el punto siguiente, y las propuestas de establecer nuevos mecanismos, tales como un Fondo proveniente del Programa de Reducción de Emisiones producidas por la Deforestación y Degradación Forestal (REDD).



### **Los fondos especiales**

En el marco del CMCC se han creado dos fondos específicos: el Fondo Especial para el Cambio Climático (SCCF *Special Climate Change Fund*) y el Fondo para Países Menos Desarrollados (LDCF *Least Developed Countries Fund*).

Ambos instrumentos financian proyectos en los países más vulnerables y han identificado a la adaptación como su prioridad. Son administrados de manera separada por el FMAM. Integran sus recursos a partir de donaciones voluntarias de Estados desarrollados.

Es importante destacar que en estos instrumentos no se aplica el criterio de costos incrementales, como así tampoco el requisito de beneficio global.

El *Fondo Especial para el Cambio Climático* financia proyectos en cuatro áreas: adaptación; transferencia de tecnología; energía, transporte, agricultura, forestación y manejo de cuencas y asistencia a países con economías altamente dependientes de fuentes fósiles de energía. La transferencia de tecnología se realiza de acuerdo con un inventario de necesidades basado en las comunicaciones nacionales.

A la fecha, han sido aprobados 22 proyectos por un monto superior a los 86 millones de dólares.

Por su parte, el *Fondo para Países Menos Desarrollados* financia proyectos urgentes en 48 de los países más pobres (la gran mayoría del continente africano), sobre la base de los Programas de Acción Nacionales de Adaptación (NAPAs *National Adaptation Programmes of Action*). El financiamiento se dirige a la preparación de dichos Programas (ya han sido elaborados más de 40) y una vez aprobados, moviliza recursos para la implementación de proyectos conforme a los mismos.

El establecimiento de estos dos mecanismos da cuenta de una tendencia a flexibilizar los requisitos y criterios de elegibilidad de los proyectos, propender a una mayor dinámica en la obtención de los fondos y responder a la necesidad de vincular el problema del cambio climático con la legítima aspiración al desarrollo. El crecimiento de los países que califican para estos Fondos, los más vulnerables y pobres, traerá aparejado un aumento de emisiones por efecto de la industrialización y consumo de recursos, salvo que dicho desarrollo se logre en términos aceptables de sustentabilidad.

Lamentablemente, las sumas comprometidas para estos Fondos resultan insuficientes y distan mucho de cubrir las necesidades expuestas por los países beneficiarios.

### **El fondo de adaptación**

El *Fondo de Adaptación* fue establecido en virtud del Protocolo de Kioto, con el objeto de financiar proyectos y programas concretos de adaptación en países en desarrollo que sean partes en dicho Protocolo.

Los recursos de este Fondo se integran principalmente con una tasa del dos por ciento sobre los Certificados de Reducción de Emisiones (CER's), emitidos por proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

El MDL es uno de los mecanismos de flexibilidad introducidos por el Protocolo de Kioto (artículo 12). En virtud de él, los países en desarrollo podrán beneficiarse de proyectos de inversión que tengan por resultado reducciones certificadas de emisiones realizados por países desarrollados, en tanto que éstos últimos podrán usar esas reducciones para cumplir una parte de sus compromisos cuantificados (CLABOT, 2007).

En virtud del párrafo 8 del artículo 12 citado, mediante decisión 10/COP7 (Marrakech), se decidió que: “un Fondo de Adaptación debe ser establecido para financiar proyectos y programas concretos de Adaptación en países en desarrollo que son Partes del

Protocolo de Kioto, como también actividades identificadas en el párrafo 8 de la decisión 5/CP.7”.

Este Fondo debe operar bajo la autoridad y rendir cuentas a la Conferencia de la Partes actuando como encuentro de las Partes ante el Protocolo de Kioto (COP-MOP), órgano que definirá el conjunto de políticas (ver decisión 5/COP-MOP2).

Los proyectos a financiar deben ser impulsados por los países y responder a las prioridades nacionales, teniendo en cuenta las propias estrategias de desarrollo sustentable, las comunicaciones nacionales, los programas de adaptación y demás instrumentos pertinentes. El Fondo cubrirá de manera íntegra los costos de adaptación.

El Fondo de Adaptación es gestionado por una Junta, cuya composición fue acordada en la COP-MOP3, compuesta por 16 miembros titulares y 16 miembros suplentes, que se reúne al menos dos veces al año.

Este nuevo instrumento de financiamiento está en plena etapa de consolidación y hasta la fecha no ha financiado ningún proyecto. Resulta aconsejable seguir de cerca su modalidad de financiamiento, funcionamiento y futuros resultados, dado que se trata de un mecanismo con integración obligatoria de recursos, es decir no depende de aportes voluntarios. En ese sentido, debería insistirse en la posibilidad de incorporar nuevas fuentes de integración, como los otros mecanismos de flexibilización previstos en el Protocolo de Kioto (actividades conjuntas y comercio de bonos) u otras alternativas más innovadoras.

### **Hacia Copenhague**

En el mes de diciembre de 2009 se llevará a cabo, en la ciudad de Copenhague, la 15° COP. Dicha cumbre del clima, enmarcada en la *hoja de ruta de Bali*, brindará el espacio para negociar un esquema posterior a Kioto, que involucre a Estados no partes en ese Protocolo, fundamentalmente Estados Unidos de América, y obtenga compromisos cuantitativos de reducción de emisiones por parte de Estados emergentes, principalmente los que conforman el llamado grupo BRIC (Brasil, Rusia, India y China).

Lo cierto es que esa cumbre desempeñará un rol importante en lo que se refiere a la generación de los recursos financieros, al modo de integración de los fondos y al acceso a los mismos.

De acuerdo con el plan de acción de Bali, formará parte de la agenda de negociación el Programa de Reducción de Emisiones provenientes de la Deforestación y Degradación Forestal (REDD), propuesta que prevé una compensación financiera a países con bosques tropicales que estén dispuestos a reducir las emisiones de carbono provenientes de la deforestación (Parker, 2008).

Dentro de las numerosas y variadas propuestas presentadas por los Estados y organizaciones ambientalistas, se encuentra la de crear un Fondo Global para el Cambio Climático, que se base en un mecanismo de integración obligatoria.

En lo que respecta a la Argentina, como país en desarrollo, debería apoyar su posición en los instrumentos internacionales vigentes, de los cuales es parte, y coordinar sus cursos de acción con otros Estados que tienen intereses similares.

### **CONCLUSIONES**

Enfrentar los desafíos que presenta la crisis climática mundial no será fácil, requiere hoy más que nunca del compromiso de todos los Estados, de la cooperación internacional y de la articulación de estrategias en todos los niveles de gestión.

Los Fondos Ambientales de carácter universal se consolidan como instrumentos imprescindibles para enfrentar los efectos del cambio climático global. En ellos se

identifica un enfoque *holístico* o de sistema del medio ambiente y se constata la aplicación de principios centrales: la soberanía estatal en la explotación de sus recursos naturales y en el diseño de sus políticas ambientales, la responsabilidad común pero diferenciada de los Estados y el desarrollo sustentable como paradigma a seguir.

El área focal cambio climático exhibe un crecimiento cuantitativo e innovador en materia de instrumentos de financiamiento ambiental. Se verifica un incremento en la asignación de fondos que, no obstante, resulta insuficiente frente a la demanda de recursos financieros. Se advierten, asimismo, fragilidades de gestión, cierta atomización de instituciones y falta de sinergia.

Se propone apoyar la inmediata puesta en marcha del Fondo de Adaptación, debiendo agregarse nuevos recursos provenientes de otras fuentes, como la implementación conjunta y el comercio de bonos.

Se sugiere profundizar el estudio sobre la conveniencia de crear un Fondo Global para el Cambio Climático, que canalice y articule los esfuerzos de cooperación en la materia, con recursos nuevos y adicionales integrados a través de un mecanismo obligatorio.

A pesar del panorama de crisis es posible rescatar un dato alentador. Los consistentes informes científicos, así como la presión ejercida por la opinión pública, han logrado generar conciencia en los líderes políticos sobre la necesidad de adoptar medidas inmediatas para enfrentar un cambio climático que ya se presenta como irreversible. Debemos exigir de ellos que asuman la responsabilidad histórica que les cabe, ya que las consecuencias de este cambio global impactan en nuestro presente y se proyectan comprometiendo incluso la subsistencia de las generaciones futuras.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BARBERIS, J. 1984. *Los sujetos del derecho Internacional actual*, Madrid.
- BARBOZA, J. 2001. *Derecho Internacional Público*, 2° ed. Zavalia, Buenos Aires
- CASSESE, A. 2005. *International Law*, 2°ed. Oxford University Press, New York.
- CEPAL. 1991. *El Desarrollo Sustentable: Transformación productiva, equidad y medio ambiente*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile.
- CLABOT, D. 2007. *Derecho del cambio climático. Régimen jurídico de bonos e industrias limpias*, ed. AD-HOC, Buenos Aires.
- CORIA, S. 1997. *Integración, Desarrollo sustentable y medio ambiente*, 1° ed. Ciudad Argentina, Buenos Aires.
- DAILLIER, P. y PELLET, A. 2002. *Droit International Public*, 7° ed. L.G.D.J., Paris.
- DE MIGUEL PERALES, C., *La Responsabilidad Civil por daños al medio ambiente*, 1° ed. Civitas, Madrid, 1993.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) 2007. Informe de Síntesis del 4to. Informe.
- KISS A. y BEURIER J., *Droit international de l'environnement*, 2° ed. Pédone, París, 2000.
- MARIÑO MENDEZ, F. 2001. *Instituciones de Derecho Internacional Público*, 13ª ed. Tecnos, Madrid,.
- PELLE, W.; VERNETTI, A.M. y MARTÍN, M.C. 2006. *Enfoques ambientales*, Ed. Suarez, Mar del Plata.
- PARKER, C., MITCHELL, A., TRIVEDI, M., MARDAS, N. 2009 *The Little REDD book*, Global Canopy Programme, Oxford, UK.
- PASTORINO, L. 2005. *El Daño al Ambiente*, 1ª ed. Lexis Nexis, Argentina,.

- REMOND- GOUILLOUD, M. 1992. *Los fondos d'indemnisation et le préjudice écologique* en "Le dommage écologique, Société Française pour le Droit de l'Environnement", París.
- REMOND – GOUILLOUD, M. 1994. *El Derecho a Destruir*, 1ª ed. Losada, Buenos Aires, 1994.
- SANDS, P. 2008. *Principles of International Environmental Law*, Vol. I, 1ªed. Manchester University Press, Manchester- New York.
- STERN, N. 2008. *Towards a Global Deal on Climate Change-*, ECOSOC.
- STRONG, M. 1997. *Se promueven las inversiones en el desarrollo sostenible en:* Revista "Nuestro Planeta", ed. Extra, 1997.
- SUSSKIND, L. 1994. *Environmental Diplomacy*, Oxford University Press, Oxford.
- TÖPFER, K. 1997. *Fondo para el Medio Ambiente Mundial. Un interés común* en Revista "Nuestro Planeta", ed. Extra.
- TRIPPELLI, A. 2008. *La Protección internacional del Ambiente en el Siglo XXI. Hacia un Derecho Internacional del Desarrollo*, ed Lexis Nexis, Buenos Aires.
- VERNETTI, A. 2001. *Medio ambiente: Los Fondos Ambientales como mecanismo financiero de recomposición*, "Revista Doctrina Judicial", ed. La Ley, 2001.
- WALSH, J., DI PAOLA, M., ACOSTA, G., LOPEZ, H., ROVERE, M., RYAN, D., SABSAY, D. 2000. *El Daño ambiental y la sustentabilidad* en "Ambiente, Derecho y Sustentabilidad", 1ª ed. La Ley, Buenos Aires.

Red CYTED 406RT0285 Efecto de los cambios globales sobre los humedales de Iberoamérica  
PIUBACC Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático



**PIUBACC**

Programa Interdisciplinario de la UBA sobre Cambio Climático

